

Polish J Med Phys & Eng 2001; 7(3): 199-278.
PL ISSN 1425-4689

Małgorzata Kania, Joanna Rostkowska

**Krajowe zalecenia dotyczące kontroli aparatów
stosowanych w teleradioterapii**

Medyczny akcelerator liniowy

Zakład Fizyki Medycznej
Centrum Onkologii – Instytut im. M. Skłodowskiej-Curie w Warszawie

Przedmowa

Niniejsza publikacja jest trzecią z serii krajowych zaleceń mających na celu kontrolę i zapewnienie wysokiej jakości podczas stosowania promieniowania jonizującego w medycynie. Ma ona podstawowe znaczenie dla prowadzenia prawidłowej i skutecznej radioterapii. Wzorem analogicznych opracowań zachodnich została przygotowana z myślą o pracujących w ośrodkach onkologicznych fizykach, na których spoczywa odpowiedzialne zadanie kontroli tych parametrów aparatury terapeutycznej, które decydują o skutecznym i bezbłędnym prowadzeniu leczenia oraz zapewniają bezpieczne stosowanie promieniowania tak dla pacjenta jak i dla personelu.

Przed nadaniem ostatecznej formy publikacja była konsultowana z fizykami ze wszystkich ośrodków onkologicznych w Polsce, które dysponują liniowymi akceleratorami medycznymi. Była również dyskutowana z członkami odpowiedniej podkomisji zespołu przygotowującego rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej o warunkach bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych. Gwarantuje to spójność obydwu opracowań i możliwość odniesień rozporządzenia do zaleceń, które łatwiej można modyfikować.

Przygotowanie opracowania wraz z przeprowadzeniem nieodzownych pomiarów umożliwiła materialna pomoc Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej.

W przygotowaniu jest następne opracowanie dotyczące symulatorów terapeutycznych.

Autorki dziękują Redaktorowi i Radzie Programowej organu Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej — Polish Journal of Medical Physics and Engineering za udostępnienie jednego z zeszytów celem opublikowania zaleceń. Umożliwi to ich szerokie rozpowszechnienie i dotarcie do wszystkich zainteresowanych.

Spis treści

CZEŚĆ I

Zalecenia dotyczące oceny parametrów technicznych medycznego akceleratora liniowego oraz dozymetrii wiązek wysokoenergetycznego promieniowania X i elektronów przeprowadzanych po zainstalowaniu nowego aparatu	205
1. OCENA PARAMETRÓW TECHNICZNYCH AKCELERATORA	207
Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana przez fizyków i pracowników serwisu aparatury	207
1.1. Kontrola świateł informacyjnych i ostrzegawczych	207
1.2. Kontrola ostrzegawczych sygnałów dźwiękowych	207
1.3. Kontrola systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego	207
1.4. Kontrola wyłączników bezpieczeństwa	208
1.5. Kontrola awaryjnego licznika dawki	208
1.6. Kontrola położeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchów obrotowych ramienia i kolimatora akceleratora	208
1.7. Kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej	209
1.8. Kontrola izocentrum mechanicznego	211
1.9. Kontrola centratorów	212
1.10. Kontrola teletmetru	214
1.11. Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania	214
1.12. Kontrola wyposażenia dodatkowego akceleratora: kolimatorów wiązek elektronów, klinów mechanicznych, osłon i tac do osłon	215
1.13. Kontrola systemów interwizji i interfonii	215
2. OCENA PARAMETRÓW DOZYMETRYCZNYCH WIĄZEK PROMIENIOWANIA.	216
Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana przez fizyków	216
2.1. Kontrola pola promieniowania	216
2.2. Kontrola jednorodności wiązek promieniowania	217

2.3.	Kontrola symetrii wiązek promieniowania	218
2.4.	Określenie jakości wiązek promieniowania X oraz energii wiązek elektronów	219
2.5.	Wyznaczenie wydajności wiązek promieniowania	220
2.6.	Wyznaczenie współczynników wiążących wskazania komory w fantomie z metapleksu z dawką pochłoniętą w wodzie dla wiązek promieniowania	221
2.7.	Kontrola powtarzalności wydajności wiązek promieniowania	222
2.8.	Kontrola proporcjonalności dawki pochłoniętej do jednostek monitorowych	223
2.9.	Kontrola pracy akceleratora w różnych położeniach ramienia aparatu	224
2.10.	Kontrola stabilności wydajności wiązek promieniowania podczas dnia pracy	224
3.	POMIARY DO KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW PLANOWANIA LECZENIA	225
4.	PROTOKÓŁ PRZEKAZANIA AKCELERATORA DO EKSPLOATACJI KLINICZNEJ	226
4.1.	Procedura przekazania akceleratora do eksploatacji klinicznej	226
4.2.	Przykład Protokołu Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej	226

CZĘŚĆ II

Zalecenia dotyczące okresowych kontroli medycznego akceleratora liniowego . 231

5.	KONTROLE WYKONYWANE CODZIENNIE	233
	Kontrola parametrów technicznych akceleratora oraz wydajności wiązek wykonywana przez techników radioterapii	233
5.1.	Kontrola systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego	233
5.2.	Kontrola telemetru	233
5.3.	Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania	233
5.4.	Kontrola centratorów	234
5.5.	Kontrola wydajności wiązek promieniowania	234

6.	KONTROLE WYKONYWANE RAZ W TYGODNIU	235
	A. Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana przez pracowników serwisu aparatury	235
6.1.	Kontrola teletmetru	235
6.2.	Kontrola centratorów	235
6.3.	Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania	237
6.4.	Kontrola wyposażenia dodatkowego akceleratora: kolimatorów wiązek elektronów, klinów mechanicznych, osłon i tac do osłon	238
	B. Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana przez fizyków	238
6.5.	Kontrola wydajności wiązek promieniowania	238
6.6.	Kontrola powtarzalności wydajności wiązek promieniowania	239
7.	KONTROLE WYKONYWANE RAZ NA KWARTAŁ I RAZ W ROKU	240
	A. Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana przez fizyków i pracowników serwisu aparatury	240
7.1.	Kontrola świateł informacyjnych i ostrzegawczych	240
7.2.	Kontrola ostrzegawczych sygnałów dźwiękowych	240
7.3.	Kontrola systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego	240
7.4.	Kontrola wyłączników bezpieczeństwa	241
7.5.	Kontrola awaryjnego licznika dawki	241
7.6.	Kontrola położeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchów obrotowych ramienia i kolimatora akceleratora	241
7.7.	Kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej	242
7.8.	Kontrola izocentrum mechanicznego	244
7.9.	Kontrola centratorów	245
7.10.	Kontrola teletmetru	247
7.11.	Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania	247
7.12.	Kontrola wyposażenia dodatkowego akceleratora: kolimatorów wiązek elektronów, klinów mechanicznych, osłon i tac do osłon	248
7.13.	Kontrola systemów interwizji i interferonii	248

B. Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana przez fizyków	249
7.14. Kontrola pola promieniowania	249
7.15. Kontrola jednorodności wiązek promieniowania	250
7.16. Kontrola symetrii wiązek promieniowania.	251
7.17. Kontrola jakości wiązek promieniowania X oraz energii wiązek elektronów	252
7.18. Kontrola wydajności wiązek promieniowania	253
7.19. Kontrola współczynników wiążących wskazania komory w fantomie z metapleksu z dawką pochłoniętą w wodzie dla wiązek promieniowania	254
7.20. Kontrola powtarzalności wydajności wiązek promieniowania	256
7.21. Kontrola proporcjonalności dawki pochłoniętej do jednostek monitorowych (raz w roku)	256
7.22. Kontrola pracy akceleratora w różnych położeniach ramienia aparatu	257
7.23. Kontrola stabilności wydajności wiązek promieniowania podczas dnia pracy	257
7.24. Kontrola danych wprowadzonych do systemów planowania leczenia (raz w roku) . . .	258
8. PROTOKÓŁY KONTROLI AKCELERATORA.	260
8.1. Sposób wypełniania Protokołów Kontroli Akceleratora	260
8.2. Sposób postępowania w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości w czasie przeprowadzania kontroli akceleratora	260
8.3. Przykłady Protokołów Kontroli Akceleratora	261
PIŚMIENNICTWO	271
RYCINY	272

Część I

Zalecenia dotyczące oceny parametrów technicznych medycznego akceleratora liniowego oraz dozymetrii wiązek wysokoenergetycznego promieniowania X i elektronów przeprowadzanych po zainstalowaniu nowego aparatu

Część pierwsza opracowania obejmuje zalecenia dotyczące kontroli jakości przeprowadzanej po zainstalowaniu nowego akceleratora liniowego. Opracowanie nie obejmuje kontroli stołów terapeutycznych. Będą one przedmiotem osobnego opracowania.

Odbiór akceleratora liniowego od firmy instalującej aparat może nastąpić jedynie po przeprowadzeniu dokładnej oceny technicznej aparatu oraz po sprawdzeniu parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania. W odbiorze powinni uczestniczyć pracownicy serwisu aparatury i fizycy medyczni.

Ocenie powinny podlegać wszystkie parametry mechaniczne i geometryczne akceleratora oraz parametry dozymetryczne wiązek promieniowania mające wpływ na dokładność napromieniania pacjentów oraz na bezpieczeństwo pacjentów i personelu.

Po odbiorze akceleratora należy przeprowadzić kompleksowe pomiary parametrów dozymetrycznych wszystkich wiązek promieniowania generowanych przez akcelerator celem skompletowania danych niezbędnych do planowania leczenia.

Wszystkie pomiary dozymetryczne należy przeprowadzić zgodnie z zaleceniami Raportu IAEA TRS nr 277 [1], [12] i TRS nr 381 [13] oraz Krajowymi Zaleceniami Pomiaru Dawki Pochłoniętej [3].

Ocena techniczna akceleratora i pomiary dozymetryczne wiązek promieniowania powinny zakończyć się sporządzeniem Protokołu Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej. Przykład Protokołu zamieszczono w opracowaniu.

Praca nie obejmuje testów kontroli jakości dotyczących niestandardowego wyposażenia akceleratora takiego jak: kolimator wielolistkowy (MLC), kliny dynamiczne, system obrazowania (Portal Vision).

1

OCENA PARAMETRÓW TECHNICZNYCH AKCELERATORA

Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana przez fizyków i pracowników serwisu aparatury

1.1. Kontrola świateł informacyjnych i ostrzegawczych

Sprawdzić poprawność działania wszystkich świateł informacyjnych i ostrzegawczych w pomieszczeniu terapeutycznym i na konsoli akceleratora.

1.2. Kontrola ostrzegawczych sygnałów dźwiękowych

Sprawdzić poprawność działania wszystkich ostrzegawczych sygnałów dźwiękowych.

1.3. Kontrola systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego

Sprawdzić poprawność działania systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego. Kontrolę przeprowadzić dla dwóch przypadków:

a) włączyć wiązkę i po chwili otworzyć drzwi do pomieszczenia terapeutycznego;

Otworzenie drzwi do pomieszczenia terapeutycznego powinno spowodować wyłączenie wiązki.

b) otworzyć drzwi do pomieszczenia terapeutycznego i spróbować włączyć wiązkę.

Włączenie wiązki, przy otwartych drzwiach do pomieszczenia terapeutycznego, powinno być niemożliwe.

1.4. Kontrola wyłączników bezpieczeństwa

Sprawdzić poprawność działania wszystkich wyłączników bezpieczeństwa w pomieszczeniu terapeutycznym i na konsoli akceleratora.

Wciśnięcie któregośkolwiek wyłącznika bezpieczeństwa powinno spowodować natychmiastowe wyłączenie zasilania akceleratora.

1.5. Kontrola awaryjnego licznika dawki

Sprawdzić poprawność wskazań awaryjnego licznika dawki. Kontrolę przeprowadzić dla dwóch przypadków:

- a) sprawdzić, czy przed włączeniem wiązki licznik wskazuje zero jednostek monitorowych;
- b) sprawdzić, czy w przypadku awaryjnego wyłączenia wiązki licznik wskazuje poprawną liczbę jednostek monitorowych.

Tolerancja: zero jednostek monitorowych.

1.6. Kontrola położeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchów obrotowych ramienia i kolimatora akceleratora

A. Kontrola położeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchu obrotowego ramienia akceleratora

Posługując się poziomicą przyłożoną do powierzchni bazowej kolimatora ustawić ramię akceleratora w położeniu pionowym.

- a) Sprawdzić poprawność odczytu elektronicznego wskaźnika kąta obrotu ramienia.
- b) Sprawdzić poprawność wskazania na mechanicznej skali kąta obrotu ramienia.

W podobny sposób skontrolować pozostałe położenia: 90°, 180° i 270° dla ruchu obrotowego ramienia akceleratora.

Tolerancja: $\pm 0,5^\circ$ dla wskaźnika elektronicznego; $\pm 1,0^\circ$ dla skali mechanicznej.

B. Kontrola położeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchu obrotowego kolimatora akceleratora

Ustawiając ramię akceleratora kolejno w położeniach: ok. 30°, 0° i 330° zaznaczać, na stole terapeutycznym, znajdującym się poza izocentrum, położenia obrazu środka krzyża (wyznaczającego środek pola). Przez zaznaczone punkty poprowadzić prostą. Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0°. Posługując się wskaźnikiem elektronicz-

nym lub skalą mechaniczną ustawić kolimator w położeniu 0° , a następnie skorygować jego położenie tak, aby obraz jednej ze strun tworzących krzyż pokrył się z prostą poprowadzoną przez zaznaczone punkty. Jest to położenie 0° dla ruchu obrotowego kolimatora.

a) Sprawdzić poprawność odczytu elektronicznego wskaźnika kąta obrotu kolimatora.

b) Sprawdzić poprawność wskazania na mechanicznej skali kąta obrotu kolimatora.

W podobny sposób skontrolować pozostałe położenia: 90° , 180° i 270° dla ruchu obrotowego kolimatora akceleratora.

Tolerancja: $\pm 0,5^\circ$ dla wskaźnika elektronicznego; $\pm 1,0^\circ$ dla skali mechanicznej.

1.7. Kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej

a) Sprawdzić, czy w położeniu ramienia akceleratora 0° oś obrotu kolimatora jest pionowa.

b) Sprawdzić, czy oś symulacji świetlnej, wyznaczona przez źródło światła (symulujące źródło promieniowania) i środek krzyża (wyznaczający środek pola), jest zgodna z osią obrotu kolimatora.

Uwaga: W procedurze kontroli wykorzystywany będzie pionowy ruch stołu terapeutycznego. Należy dokonać kontroli tego ruchu.

Do blatu stołu przytwierdzić pion. Ustawić stół w najwyższym położeniu i zaznaczyć na podłodze położenie wierzchołka pionu. Następnie ustawić stół w najniższym położeniu. Różnica wskazań pionu w obu położeniach stołu nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Do głowicy akceleratora przytwierdzić wskaźnik tak, aby obracał się razem z kolimatorem, a jego wierzchołek dotykał stołu terapeutycznego w pobliżu obrazu środka krzyża. Na stole terapeutycznym, ustawionym w odległości izocentrycznej, zaznaczać położenia wierzchołka wskaźnika i położenia obrazu środka krzyża podczas obrotu kolimatora o kąt 360° . Wierzchołek wskaźnika zakreśli okrąg. Obraz środka krzyża pozostanie nieruchomy lub zakreśli mały okrąg. Następnie obniżyć stół o 20 cm i powtórzyć procedurę.

Oś obrotu kolimatora wyznaczona jest przez środki okręgów zakreślonych przez wierzchołek wskaźnika w obu położeniach stołu.

Tolerancja: odległość między środkami okręgów, zakreślonych przez wierzchołek wskaźnika w obu położeniach stołu, nie może przekraczać 2 mm.

Można wtedy przyjąć, że oś obrotu kolimatora jest pionowa.

Położenie źródła światła i środka krzyża, względem osi obrotu kolimatora, można określić na podstawie obrazów środka krzyża uzyskanych podczas obrotu kolimatora. Interpretacja wyników zależy od tego, czy w danym akceleratorze źródło światła jest nieruchome, czy obraca się razem z kolimatorem.

A. Źródło światła nieruchome podczas obrotu kolimatora (Ryc. 1A)

- a) Podczas obrotu kolimatora, obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy na osi obrotu kolimatora — oznacza to, że źródło światła i środek krzyża znajdują się na osi obrotu kolimatora.
- b) Obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy poza osią obrotu kolimatora — źródło światła znajduje się poza osią obrotu kolimatora, środek krzyża znajduje się na osi obrotu kolimatora.
- c) Obraz środka krzyża zakreśla okrąg, którego środek leży na osi obrotu kolimatora — źródło światła znajduje się na osi obrotu kolimatora, środek krzyża znajduje się poza osią obrotu kolimatora.
- d) Obraz środka krzyża zakreśla okrąg, którego środek leży poza osią obrotu kolimatora — źródło światła i środek krzyża znajdują się poza osią obrotu kolimatora.

B. Źródło światła obracające się razem z kolimatorem (Ryc. 1B)

- a) Obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy na osi obrotu kolimatora — oznacza to, że źródło światła i środek krzyża znajdują się na osi obrotu kolimatora.
- b) Obraz środka krzyża zakreśla okrąg, którego środek leży na osi obrotu kolimatora — źródło światła, albo środek krzyża, albo źródło światła i środek krzyża znajdują się poza osią obrotu kolimatora.

W przypadku opisanym w punkcie B.b., w celu określenia położenia źródła światła i środka krzyża względem osi obrotu kolimatora, należy przeprowadzić dodatkowy test. Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Umieścić wskaźnik tak, aby nie obracał się razem z kolimatorem, a jego wierzchołek znajdował się na osi obrotu kolimatora. Na stole terapeutycznym zaznaczać położenia obrazu wierzchołka wskaźnika podczas obrotu kolimatora o kąt 360° .

- c) Obraz wierzchołka wskaźnika pozostaje nieruchomy — oznacza to, że źródło światła znajduje się na osi obrotu kolimatora.
- d) Obraz wierzchołka wskaźnika zakreśla okrąg — źródło światła znajduje się poza osią obrotu kolimatora.

Po ustawieniu źródła światła na osi obrotu kolimatora należy skontrolować położenie środka krzyża względem tej osi. Jeśli podczas obrotu kolimatora obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy (na osi obrotu kolimatora) oznacza to, że środek krzyża znajduje się na osi obrotu kolimatora. Jeśli obraz środka krzyża zakreśla okrąg (wokół osi obrotu kolimatora) — środek krzyża znajduje się poza osią obrotu kolimatora.

Tolerancja: odległość obrazu środka krzyża od osi obrotu kolimatora nie może przekraczać 2 mm. Warunek powinien być spełniony w każdym położeniu kolimatora.

1.8. Kontrola izocentrum mechanicznego

Izocentrum mechaniczne jest to punkt w przestrzeni, w którym oś obrotu kolimatora przecina się z osią obrotu ramienia akceleratora.

Prostym przyrządem ułatwiającym wyznaczenie położenia izocentrum mechanicznego może być fantom z metapleksu, w kształcie sześciangu o boku około 4 cm. Na każdej ze ścian fantomu należy precyzyjnie narysować dwie linie przecinające się w środku ściany, równoległe do jej krawędzi (Ryc. 2).

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Fantom zamocować (na statywie lub na stole terapeutycznym) tak, aby podczas pełnego obrotu ramienia akceleratora możliwe było obserwowanie obrazu krzyża (wyznaczającego osie główne pola) na ścianach fantomu. Wypoziomowany fantom ustawić tak, aby górna ściana znajdowała się w odległości mniejszej o 2 cm od nominalnej odległości izocentrycznej, a obraz krzyża pokrywał się z liniami narysowanymi na tej ścianie. Środek geometryczny sześciangu znajduje się wtedy w pobliżu spodziewanego położenia izocentrum mechanicznego. Ustawiając ramię akceleratora kolejno w położeniach 0° i 180° , a następnie 90° i 270° zmieniać położenie fantomu tak, aby znalazł się w położeniu pośrednim w stosunku do obrazów środka krzyża, obserwowanych na przeciwnych ścianach fantomu (Ryc. 3).

Środek geometryczny fantomu wyznacza położenie izocentrum mechanicznego wtedy, gdy fantom znajduje się w takim położeniu, że suma odległości obrazów środka krzyża (obserwowanych na ścianach fantomu we wszystkich położeniach ramienia akceleratora) od środka fantomu jest najmniejsza.

Tolerancja: podczas pełnego obrotu ramienia akceleratora obraz środka krzyża powinien znajdować się w obszarze kuli o średnicy 2 mm; nie może

przekraczać obszaru kuli o średnicy 4 mm. Środkiem kuli jest izocentrum mechaniczne.

Położenie izocentrum mechanicznego będzie potrzebne w dalszych procedurach kontroli. Należy je więc „zaznaczyć” w przestrzeni za pomocą centratorów, tzn. wiązki światła laserowego z centratorów bocznych oraz z centratora strzałkowego ustawić tak, aby przechodziły przez środki odpowiednich ścian fantomu. Ze względu na małe wymiary fantomu można przyjąć, że tak ustawione wiązki światła będą przechodziły przez środek geometryczny fantomu wyznaczający położenie izocentrum mechanicznego.

Dla celów cotygodniowej kontroli centratorów, wygodnie jest zapamiętać położenie izocentrum mechanicznego względem obrazu środka krzyża, w położeniu ramienia akceleratora 0° , w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, w odległości izocentrycznej.

Przy wyznaczaniu położenia izocentrum mechanicznego, zamiast opisanego fantomu, można posłużyć się cienkim, sztywnym wskaźnikiem zamocowanym niezależnie od akceleratora tak, aby jego wierzchołek znajdował się blisko przewidywanego położenia izocentrum i aby możliwy był pełny obrót ramienia akceleratora bez zmiany położenia wskaźnika.

1.9. Kontrola centratorów

Sprawdzić ustawienie wiązek światła laserowego z centratorów bocznych (każdy z centratorów bocznych emituje dwie przecinające się wiązki światła), z centratora strzałkowego (centrator strzałkowy emituje jedną wiązkę światła) oraz z centratora wstecznego (centrator wsteczny emituje dwie przecinające się wiązki światła):

- a) wiązki światła laserowego powinny przechodzić przez izocentrum mechaniczne. W czasie „zaznaczania” w przestrzeni izocentrum mechanicznego (patrz punkt 1.8.) wszystkie centratory zostały ustawione tak, aby emitowane przez nie wiązki światła przechodziły przez izocentrum;
- b) wiązki światła laserowego powinny być, odpowiednio, pionowe lub poziome. Ponadto, wiązki pionowe powinny być równoległe do odpowiednich osi głównych pola świetlnego w obszarze ± 20 cm od środka pola.

Prostym przyrządem do przeprowadzenia kontroli centratorów może być ekran składający się z cienkiej, prostokątnej płytki z metapleksu połączonej z prostokątną ekierką umożliwiającą stabilne, pionowe ustawienie ekranu. Na ekranie należy narysować dwie przecinające się linie, równoległe do krawędzi płytki (Ryc. 4).

A. Kontrola centratorów bocznych

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Na stole terapeutycznym położyć sztywną, wypoziomowaną płytę (np. z metapleksu). Na płycie ustawić ekran pionowo tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do podłużnej (strzałkowej) osi pola świetlnego i przechodziła przez obraz środka krzyża. Przesunąć stół tak, aby punkt przecięcia wiązek światła laserowego z centratorów bocznych pokrył się ze środkiem krzyża narysowanego na ekranie. Sprawdzić, czy wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się z liniami narysowanymi na ekranie. Następnie, przesuwać ekran równoległe wzdłuż poprzecznej osi pola świetlnego o ± 20 cm od środka pola sprawdzić, czy w całym zakresie odległości, wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się z liniami narysowanymi na ekranie.

Tolerancja: 1 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od środka pola.

Ponadto, odległość między wiązkami światła z centratorów bocznych, w obszarze ± 20 cm od środka pola, nie może przekraczać 1 mm.

Uwaga: Po zakończeniu kontroli centratorów bocznych nie zmieniać położenia ramienia i kolimatora akceleratora oraz stołu terapeutycznego.

B. Kontrola centratora strzałkowego

Ustawić ekran pionowo tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do poprzecznej osi pola świetlnego, przechodziła przez obraz środka krzyża, a wiązka światła laserowego z centratora strzałkowego przechodziła przez środek krzyża narysowanego na ekranie. Sprawdzić, czy wiązka światła z centratora strzałkowego pokrywa się z pionową linią narysowaną na ekranie. Następnie, przesuwać ekran równoległe wzdłuż podłużnej osi pola świetlnego o ± 20 cm od środka pola sprawdzić, czy w całym zakresie odległości, wiązka światła z centratora strzałkowego pokrywa się z pionową linią narysowaną na ekranie.

Tolerancja: 1 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od środka pola.

C. Kontrola centratora wstecznego

Ustawić stół terapeutyczny w odległości izocentrycznej. Używając części stołu z folią mylarową sprawdzić, czy punkt przecięcia wiązek światła z centratora wstecznego pokrywa się z izocentrum mechanicznym. Następnie, nie zmieniając położenia stołu, ustawić ramię akceleratora w położeniu 180° i powtórzyć procedurę kontroli.

Tolerancja: 2 mm w każdym położeniu ramienia akceleratora.

1.10. Kontrola telemetru

Sprawdzić poprawność wskazań telemetru w zakresie odległości ± 20 cm od izocentrum w położeniach ramienia akceleratora: 0° , 90° i 270° .

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Wzorcowy wskaźnik odległości ustawić wzdłuż osi symulacji świetlnej. Wzorcowym wskaźnikiem odległości może być pręt o długości co najmniej 40 cm, z naniesioną podziałką centymetrową, zamocowany w podstawie umożliwiającej jego stabilne, pionowe ustawienie. W izocentrum telemetr powinien wskazywać nominalną odległość źródło-izocentrum. Porównać wskazania telemetru z wzorcowym wskaźnikiem odległości w całym, sprawdzanym zakresie odległości od izocentrum.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 90° . Na stole terapeutycznym ustawić ekran tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do podłużnej osi pola świetlnego i przechodziła przez obraz środka krzyża. Przesuwając ekran równoległe wzdłuż poprzecznej osi pola świetlnego sprawdzić poprawność wskazań telemetru w całym, sprawdzanym zakresie odległości od izocentrum. Następnie ustawić ramię akceleratora w położeniu 270° i powtórzyć procedurę kontroli telemetru.

Tolerancja: ± 2 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od izocentrum.

1.11. Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla kolimatora wiązek promieniowania X oraz dla zmiennego kolimatora wiązek elektronów.

- a) Sprawdzić zgodność wymiarów pola świetlnego, mierzonych wzdłuż osi głównych pola, z wartościami odczytanymi na elektronicznych wskaźnikach wielkości pola.

Tolerancja: ± 2 mm dla każdego wymiaru pola.

- b) Sprawdzić zgodność pola świetlnego z polem wzorcowym, porównując wzajemne położenie boków obydwu pól.

Tolerancja: odległość między odpowiednimi bokami pola świetlnego i pola wzorcowego nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Kartkę papieru milimetrowego, z narysowanym polem wzorcowym, umieścić na stole terapeutycznym, w odległości izocentrycznej tak, aby środek geometryczny pola wzorcowego pokrywał się z cieniem środka krzyża. Kontrolę przeprowadzić dla pól: małego, średniego i dużego (np.: $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ i $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$).

Kontrolę pola świetlnego przeprowadzić także w położeniach ramienia akceleratora 90° i 270°.

1.12. Kontrola wyposażenia dodatkowego akceleratora: kolimatorów wiązek elektronów, klinów mechanicznych, osłon i tac do osłon

- a) Sprawdzić wizualnie, czy akcesoria nie są uszkodzone mechanicznie.
- b) Sprawdzić prawidłowość zamocowania klinów mechanicznych w swoich tacach.
- c) Sprawdzić prawidłowość mocowania kolimatorów wiązek elektronów, tac z klinami mechanicznymi oraz tac do osłon do głowicy akceleratora.
- d) Sprawdzić prawidłowość działania systemu kodującego kolimatory wiązek elektronów, kliny mechaniczne i tace do osłon.

1.13. Kontrola systemów interwizji i interfonii

Sprawdzić poprawność działania systemów interwizji i interfonii w pomieszczeniu terapeutycznym i w sterowni akceleratora.

2

OCENA PARAMETRÓW DOZYMTRYCZNYCH WIĄZEK PROMIENIOWANIA

Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana przez fizyków

2.1. Kontrola pola promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

- a) Sprawdzić zgodność wymiarów pola promieniowania, mierzonych wzdłuż osi głównych pola, z wartościami odczytanymi na elektronicznych wskaźnikach wielkości pola.

Tolerancja: ± 2 mm dla każdego wymiaru pola.

- b) Sprawdzić symetrię pola promieniowania względem obrazu środka krzyża.

Tolerancja: odległość środka pola promieniowania od obrazu środka krzyża nie może przekraczać 2 mm.

- c) Sprawdzić zgodność pola promieniowania z polem świetlnym, porównując wzajemne położenie boków obydwu pól.

Zgodność pola promieniowania z polem świetlnym zależy od wzajemnego położenia źródła promieniowania i źródła światła (Ryc. 5).

Tolerancja: odległość między odpowiednimi bokami pola promieniowania i pola świetlnego nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Film w światłoszczelnej, papierowej kopercie umieścić na stole terapeutycznym, w odległości izocentrycznej. Posługując się elektronicznymi wskaźnikami wielkości pola ustawić pole o wymiarach $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Na filmie zaznaczyć (np. przez nakłucie filmu przez kopertę) boki lub rogi pola świetlnego oraz położenie obrazu środka krzyża. Na filmie położyć płytę z meta-pleksu o grubości równoważnej co najmniej głębokości położenia maksimum dawki

w wodzie d_{\max} . Napromienić film stosując dawkę z liniowego zakresu zależności gęstości optycznej od dawki. Za pomocą densytometru odczytać z filmu, po odjęciu tła, rozkłady gęstości optycznej wzdłuż osi głównych pola promieniowania. Wielkość pola promieniowania określona jest położeniem 50% wartości gęstości optycznej. Jako 100% przyjmuje się wartość gęstości optycznej w osi wiązki.

Kontrolę pola promieniowania przeprowadzić także w położeniach ramienia akceleratora: 90° i 270° .

Kontrolę pola promieniowania można przeprowadzić w fantomie wodnym mierząc profile wiązek w osiach głównych pola.

2.2. Kontrola jednorodności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Jednorodność wiązki promieniowania określa się na podstawie rozkładów dawki w wodzie, w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, na głębokości d ($d =$ np. 10 cm dla wiązek promieniowania X; $d = d_{\max}$ dla wiązek elektronów), wzdłuż osi głównych pola promieniowania, w obszarze 80% wymiarów pola (na głębokości pomiaru).

Jednorodność wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$H = 100 \left[\frac{D_{\max}(d)}{D_{\min}(d)} - 1 \right] \quad [\%]$$

gdzie:

$D_{\max}(d)$ — maksymalna wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola;

$D_{\min}(d)$ — minimalna wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Pomiar przeprowadzić w wodzie, za pomocą trójwymiarowego analizatora pola promieniowania. Dla każdej wiązki promieniowania zmierzyć profile wzdłuż osi głównych pola, dla co najmniej dwóch wielkości pola (np.: 10 cm \times 10 cm i maksymalnego pola kwadratowego).

Pomiary dla wiązek fotonów przeprowadzić w geometrii stałej odległości SSD (*Source Surface Distance*) albo w geometrii izocentrum (SAD — *Source Axis Distance*). Pomiary dla wiązek elektronów przeprowadzić w geometrii stałej odległości SSD (Ryc. 6).

Tolerancja: 6% dla wiązek promieniowania X i 10% dla wiązek elektronów.

2.3. Kontrola symetrii wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Symetrię wiązki promieniowania określa się na podstawie rozkładów dawki w wodzie, w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, na głębokości d ($d = \text{np. } 10 \text{ cm}$ dla wiązek promieniowania X, $d = d_{\text{max}}$ dla wiązek elektronów), wzdłuż osi głównych pola promieniowania, w obszarze 80% wymiarów pola (na głębokości pomiaru).

Symetrię wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$S = 100 \cdot \max \left(\left| \frac{D_L(r, d)}{D_P(r, d)} - 1 \right| \right) \quad [\%]$$

gdzie:

$D_L(r, d)$ — wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania w lewej połowie pola, w odległości r od osi wiązki, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola;

$D_P(r, d)$ — wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania w prawej połowie pola, w odległości r od osi wiązki, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola.

Na podstawie rozkładów dawki (profilu wiązek) zmierzonych w fantomie wodnym (patrz punkt 2.2.) określić symetrię każdej wiązki promieniowania wzdłuż osi głównych pola.

Tolerancja: 2% dla wiązek promieniowania X i dla wiązek elektronów.

2.4. Określenie jakości wiązek promieniowania X oraz energii wiązek elektronów

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

A. Wiązki promieniowania X

TPR_{10}^{20} — parametr określający jakość wiązki wysokoenergetycznego promieniowania X, pośrednio określający energię wiązki, zdefiniowany jest jako stosunek dawek pochłoniętych w wodzie, zmierzonych na głębokościach: 20 cm (D_{20}) i 10 cm (D_{10}), w osi wiązki, w odległości 100 cm od źródła promieniowania, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm na poziomie detektora.

$$TPR_{10}^{20} = \frac{D_{20}}{D_{10}}$$

Pomiary przeprowadzić jedną z dwóch opisanych niżej metod:

- Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Komorę jonizacyjną umieścić w fantomie wodnym, w osi wiązki, w odległości 100 cm od źródła promieniowania, na głębokości 20 cm, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm na poziomie komory. Określić dawkę na głębokości 20 cm (D_{20}). Następnie, nie zmieniając położenia komory, zmniejszyć ilość wody w fantomie tak, aby komora znalazła się na głębokości 10 cm i określić dawkę na tej głębokości (D_{10}). Na podstawie wyników pomiarów wyznaczyć wartość parametru TPR_{10}^{20} dla wiązki promieniowania X.
- Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Komorę jonizacyjną umieścić w fantomie wodnym, w osi wiązki, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm na powierzchni fantomu. Powierzchnia fantomu powinna znajdować się w odległości 100 cm od źródła promieniowania. Określić dawkę na głębokościach: 10 cm (D_{10}) i 20 cm (D_{20}), a następnie korzystając z tabeli nr XIII raportu IAEA TRS nr 277 określić wartość parametru TPR_{10}^{20} dla wiązki promieniowania X.

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X.

B. Wiązki elektronów

\bar{E}_0 — średnia energia wiązki elektronów na powierzchni fantomu określana jest na podstawie zasięgu $^JR_{50}$ (tzn. głębokości w wodzie, w osi wiązki promieniowania, na której jonizacja wynosi 50% wartości maksymalnej) i zdefiniowana jest wzorem:

$$\bar{E}_0 = 0,818 + 1,935 \ ^JR_{50} + 0,040 (\ ^JR_{50})^2 \quad [\text{MeV}]$$

We wzorze zasięg $^JR_{50}$ ma wymiar [cm]
(raport IAEA TRS nr 381, wzór nr 10.3A, str. 66).

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Pomiar przeprowadzić za pomocą komory jonizacyjnej w fantomie wodnym. Powierzchnia fantomu powinna znajdować się w odległości 100 cm od źródła promieniowania. Zmierzyć rozkład jonizacji wzdłuż osi wiązki promieniowania dla dużego pola tzn. dla pola o wymiarach co najmniej $12 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ w przypadku wiązek o energii $\bar{E}_0 \leq 15 \text{ MeV}$ i $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ dla wiązek o energii $\bar{E}_0 > 15 \text{ MeV}$. Z krzywej jonizacji odczytać wartość $^JR_{50}$, a następnie korzystając z powyższego wzoru określić wartość średniej energii \bar{E}_0 wiązki elektronów na powierzchni fantomu.

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek elektronów.

2.5. Wyznaczenie wydajności wiązek promieniowania

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Wydajność W [Gy/MU] wiązki promieniowania zdefiniowana jest jako dawka pochłonięta w wodzie D [Gy] zmierzona w warunkach referencyjnych, przypadająca na jednostkę monitorową [MU].

Warunki referencyjne dla wiązek fotonów:

- geometria stałej odległości SSD albo geometria izocentrum,
- pole o wymiarach $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ (w odległości izocentrycznej),

- głębokość pomiaru w wodzie $d = 5$ cm (w przypadku wiązek, dla których $TPR_{10}^{20} \leq 0,7$) lub $d = 10$ cm (jeśli $TPR_{10}^{20} > 0,7$).

Warunki referencyjne dla wiązek elektronów:

- geometria stałej odległości SSD,
- pole o wymiarach 10 cm \times 10 cm (w odległości izocentrycznej),
- głębokość pomiaru w wodzie $d = d_{\max}$ (głębokość położenia maksimum dawki w wodzie) lub 1 cm (w przypadku wiązek, dla których $5 \leq \bar{E}_0$ [MeV] < 10), d_{\max} lub 2 cm (jeśli $10 \leq \bar{E}_0$ [MeV] < 20), d_{\max} lub 3 cm (jeśli $20 \leq \bar{E}_0$ [MeV] < 50). Dla danej wiązki, spośród proponowanych, należy wybrać większą głębokość.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Pomiaru wydajności przeprowadzić w warunkach referencyjnych, za pomocą komory jonizacyjnej umieszczonej w fantomie wodnym, w osi wiązki promieniowania. Komora jonizacyjna, wraz z dawkomierzem, powinna posiadać aktualne świadectwo legalizacji wydane lub akceptowane przez krajowe Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych. Dla każdej wiązki promieniowania, na podstawie co najmniej pięciu pomiarów, zgodnie z raportem IAEA TRS nr 277 (dla wiązek fotonów) lub raportem IAEA TRS nr 381 (dla wiązek elektronów), określić wartość dawki pochłoniętej w wodzie oraz wartość wydajności w warunkach referencyjnych.

Wygodnie jest dokonać regulacji wydajności wiązek promieniowania tak, aby dla każdej wiązki, w warunkach referencyjnych uzyskać: $W = 1$ cGy/MU.

Zaleca się, aby przed oddaniem akceleratora do eksploatacji klinicznej, w celu kontroli uzyskanych wyników, pomiary wydajności wszystkich wiązek promieniowania zostały przeprowadzone powtórnie, przez inny zespół fizyków, za pomocą innego, zalegalizowanego zestawu: dawkomierza z komorą jonizacyjną.

2.6. Wyznaczenie współczynników wiążących wskazania komory w fantomie z metapleksu z dawką pochłoniętą w wodzie dla wiązek promieniowania

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

W czasie eksploatacji klinicznej akceleratora konieczne jest przeprowadzanie częstej, regularnej kontroli wydajności wiązek promieniowania. Pomiaru te wygodnie jest wykonywać w fantomie z metapleksu niż w fantomie wodnym. Dla każdej wiązki promieniowania, konieczne jest więc znalezienie współczynnika wiążącego wskazania komory zmierzone w fantomie z metapleksu, z dawką pochłoniętą w wodzie. Dla potrzeb niniejszej pracy współczynnik ten oznaczymy literą A .

Dla danej wiązki promieniowania współczynnik A [Gy/dz] zdefiniowany jest jako stosunek dawki pochłoniętej w wodzie D [Gy], zmierzonej w warunkach referencyjnych, do wskazań komory jonizacyjnej sprowadzonych do warunków normalnych ciśnienia i temperatury M [dz], zmierzonych w fantomie z metapleksu, w geometrii pomiarowej, w jakiej wykonywana będzie okresowa kontrola wydajności wiązki. Obie wielkości powinny być zmierzone dla takiej samej liczby jednostek monitorowych.

$$A = \frac{D}{M} \quad [\text{Gy/dz}]$$

Pomiary przeprowadzić za pomocą sprzętu (dawkomierza, komory jonizacyjnej i fantomu z metapleksu), który będzie używany w czasie cotygodniowej kontroli wydajności wiązek promieniowania.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Komorę jonizacyjną umieścić w fantomie z metapleksu, w osi wiązki promieniowania, na ustalonej dla danej wiązki głębokości d , w polu o wymiarach $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Powierzchnia fantomu powinna być prostopadła do osi wiązki. Wskazania komory jonizacyjnej sprowadzić do warunków normalnych ciśnienia i temperatury oraz korzystając z wyznaczonej w punkcie 2.5. wartości dawki pochłoniętej w wodzie wyznaczyć wartość współczynnika A dla danej wiązki promieniowania. Następnie przeprowadzić pomiary dla pozostałych wiązek promieniowania.

Odstęp czasu między pomiarami w wodzie i pomiarami w fantomie z metapleksu powinien być możliwie jak najkrótszy, w celu zminimalizowania wpływu niestabilności pracy akceleratora. Od chwili zakończenia pomiarów w wodzie do czasu zakończenia pomiarów w fantomie z metapleksu nie można dokonywać żadnych regulacji wiązek.

Zaleca się, aby przed oddaniem akceleratora do eksploatacji klinicznej, w celu kontroli uzyskanych wyników, wartości współczynników A dla wszystkich wiązek promieniowania zostały wyznaczone trzykrotnie.

2.7. Kontrola powtarzalności wydajności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Powtarzalność wydajności wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$P = \frac{100}{\bar{W}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\bar{W} - W_i)^2}{n-1}} \quad [\%]$$

gdzie:

W_i — wartość wydajności wiązki w i -tym pomiarze [Gy/MU]

\bar{W} — średnia wartość wydajności wiązki [Gy/MU]

n — liczba pomiarów; $n \geq 5$

Na podstawie pomiarów wydajności (patrz punkt 2.5.), zgodnie z powyższym wzorem, określić powtarzalność wydajności dla każdej wiązki promieniowania.

Tolerancja: 0,5%

2.8. Kontrola proporcjonalności dawki pochłoniętej do jednostek monitorowych

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Sprawdzić liniowość zależności między liczbą jednostek monitorowych i odpowiadającą jej, zmierzoną wartością dawki pochłoniętej w wodzie, w całym zakresie wartości stosowanych w radioterapii.

Dla danej wiązki promieniowania wykonać pomiary dawki (geometria pomiarów jak w punkcie 2.5. lub 2.6.) dla co najmniej pięciu różnych liczb jednostek monitorowych. Do punktów pomiarowych dopasować prostą.

Tolerancja:

- dopasowana prosta powinna przechodzić przez początek układu współrzędnych z dokładnością do 1 MU;
- odchylenie zmierzonych wartości dawki od wartości dopasowanych nie może przekraczać 1%.

2.9. Kontrola pracy akceleratora w różnych położeniach ramienia aparatu

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Komorę jonizacyjną, w odpowiedniej nakładce „build-upowej”, umieścić w powietrzu, w izocentrum, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm. Wykonać pomiary jonizacji w czterech położeniach ramienia akceleratora: 0°, 90°, 180° i 270°. Wyniki pomiarów sprowadzić do warunków normalnych ciśnienia i temperatury. Wszystkie pomiary wykonać dla takiej samej liczby jednostek monitorowych.

Tolerancja:

- w każdym położeniu ramienia akceleratora wyniki pomiarów jonizacji powinny spełniać warunek powtarzalności (patrz punkt 2.7.);
- w każdym położeniu ramienia akceleratora wartość jonizacji nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości jonizacji zmierzonej w położeniu ramienia 0°.

Kontrolę można przeprowadzić za pomocą komory jonizacyjnej umieszczonej w fantomie z metapleksu zamocowanym bezpośrednio do głowicy akceleratora, np. w miejscu mocowania tacy do osłon.

2.10. Kontrola stabilności wydajności wiązek promieniowania podczas dnia pracy

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Dwukrotnie w ciągu dnia przeprowadzić pomiary wydajności wiązki w fantomie wodnym lub w fantomie z metapleksu (geometria pomiarów jak w punkcie 2.5. lub 2.6.): na początku dnia pracy (W_1) i bezpośrednio po zakończeniu całodziennych pracy akceleratora (W_2). Wszystkie pomiary wykonać dla takiej samej liczby jednostek monitorowych.

Tolerancja:

- żadna z wartości W_1 nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości wydajności przyjętej w planowaniu leczenia;
- wartość wydajności W_2 nie może różnić się więcej niż o $\pm 2\%$ od wartości W_1 .

3

POMIARY DO KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW PLANOWANIA LECZENIA

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Danymi wejściowymi do komputerowych systemów planowania leczenia najczęściej są: rozkłady dawki w wodzie wzdłuż osi centralnej wiązki (procentowe dawki głębokie), rozkłady dawki w wodzie w płaszczyznach prostopadłych do osi wiązki (profile wiązki), wydajności w wodzie, współczynniki transmisji dla klinów mechanicznych i tac do osłon, itp. Dane te są podstawą do obliczania rozkładów izodoz dla dowolnej kombinacji pól promieniowania stosowanych w radioterapii.

Szczegółowe informacje dotyczące rodzaju wymaganych pomiarów i sposobu ich przeprowadzenia zawarte są w instrukcjach obsługi systemów planowania leczenia.

Ponadto należy przeprowadzić pomiary, które posłużą do weryfikacji dokładności obliczeń wykonywanych przez systemy planowania leczenia.

4

PROTOKÓŁ PRZEKAZANIA AKCELERATORA DO EKSPLOATACJI KLINICZNEJ

4.1. Procedura przekazania akceleratora do eksploatacji klinicznej

Po przeprowadzeniu oceny technicznej akceleratora oraz po przeprowadzeniu pomiarów dozymetrycznych wiązek promieniowania, niezbędnych do opracowania bazy danych dla systemów planowania leczenia, może nastąpić przekazanie akceleratora do eksploatacji klinicznej. Przekazanie powinno być udokumentowane **Protokółem Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej** zawierającym komplet podstawowych danych początkowych akceleratora (tzn. wartości parametrów mechanicznych, geometrycznych i dozymetrycznych wyznaczone w wyniku pomiarów przeprowadzonych po zainstalowaniu akceleratora).

Stroną przekazującą akcelerator są przedstawiciele fizyków i pracowników serwisu aparatury.

Stroną odbierającą akcelerator jest Kierownik Zakładu Radioterapii.

Kierownik Zakładu Radioterapii otrzymuje oryginał Protokołu. Kopie Protokołu otrzymują przedstawiciele fizyków i pracowników serwisu aparatury. Pełną dokumentację parametrów mechanicznych i geometrycznych przechowują fizycy i pracownicy serwisu aparatury. Pełną dokumentację parametrów dozymetrycznych, włącznie z danymi do systemów planowania leczenia, przechowują fizycy.

4.2. Przykład Protokołu Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej

A — Ocena techniczna akceleratora

B — Parametry dozymetryczne wiązki promieniowania X

C — Parametry dozymetryczne wiązki elektronów

A.

Protokół Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej

Ocena parametrów technicznych akceleratora

Akcelerator:

Data:

PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	WYNIKI
1. Światła informacyjne i ostrzegawcze	—	
2. Ostrzegawcze sygnały dźwiękowe	—	
3. Blokada drzwi	—	
4. Wyłączniki bezpieczeństwa	—	
5. Awaryjny licznik dawki	0 MU	
6. Położenie 0°, 90°, 180°, 270° ramienia i kolimatora	wsk. elektron. 0,5° skala mechan. 1,0°	
7. Zgodność osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej	2 mm	
8. Izocentrum	2 mm	
9. Centratory	1 mm	
10. Telemetr	2 mm	
11. Symulacja świetlna wiązki X wiązki e ⁻	2 mm 2 mm	
12. Wyposażenie dodatkowe akceleratora	—	
13. Interwizja i interfonia	—	
Data i podpisy osób przeprowadzających ocenę techniczną aparatu	Pracownik Serwisu	Fizyk
Data i podpis Kierownika Radioterapii		

B.

Protokół Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej
Ocena parametrów dozymetrycznych wiązki promieniowania X

Akcelerator:

Data:

Energia wiązki: MV

PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	WYNIKI
1. Pole promieniowania	2 mm	
2. Jednorodność	6%	
3. Symetria	2%	
4. Energia (TPR_{10}^{20})	—	
5. Wydajność [Gy/MU]	—	
6. Współczynnik A	—	
7. Powtarzalność	0,5%	
8. Proporcjonalność	1 MU; 1%	
9. Wydajność w funkcji kąta	1,5%	
10. Stabilność podczas dnia	2%	
Data i podpis osoby przeprowadzającej pomiary		
Data i podpis Kierownika Radioterapii		

C.

Protokół Przekazania Akceleratora do Eksploatacji Klinicznej
Ocena parametrów dozymetrycznych wiązki elektronów

Akcelerator:

Data:

Energia wiązki: MeV

PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	WYNIKI
1. Pole promieniowania	2 mm	
2. Jednorodność	10%	
3. Symetria	2%	
4. Energia \bar{E}_0 [MeV]	—	
5. Wydajność [Gy/MU]	—	
6. Współczynnik A	—	
7. Powtarzalność	0,5%	
8. Proporcjonalność	1 MU; 1%	
9. Wydajność w funkcji kąta	1,5%	
10. Stabilność podczas dnia	2%	
Data i podpis osoby przeprowadzającej pomiary		
Data i podpis Kierownika Radioterapii		

Część II

Zalecenia dotyczące okresowych kontroli medycznego akceleratora liniowego

Proponowane pomiary kontrolne obejmują sprawdzanie parametrów technicznych akceleratorów liniowych oraz parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania stosowanych w teleradioterapii, których wartości lub prawidłowość działania decydują o poprawności i dokładności napromieniania pacjentów oraz o bezpieczeństwie pacjentów i personelu. Przy każdym parametrze podlegającym kontroli zawarto krótki opis proponowanego sposobu wykonywania kontroli lub sposobu oceny prawidłowości działania kontrolowanego systemu oraz podano dopuszczalny zakres wartości parametru. Opracowanie nie obejmuje testów kontroli jakości stołów terapeutycznych oraz elementów niestandardowego wyposażenia akceleratora, które będą przedmiotem osobnego opracowania.

Zalecenia opracowano grupując w jeden blok parametry, które podlegają kontroli z tą samą częstotliwością, wskazując przy tym osoby odpowiedzialne za przeprowadzenie kontroli.

Proponuje się kontrole wykonywane:

- codziennie przez techników radioterapii;
- raz w tygodniu przez fizyków i pracowników serwisu aparatury;
- raz na kwartał przez fizyków i pracowników serwisu aparatury;
- raz w roku przez fizyków.

Niezależnie od ustalonego harmonogramu prac kontrolnych, po każdej awarii akceleratora należy przeprowadzić kontrolę odpowiednich elementów, układów lub systemów oraz, stosownie do zaistniałej awarii, przeprowadzić odpowiednie pomiary dozymetryczne.

W opracowaniu zamieszczono przykłady Protokołów Kontroli Akceleratora, które powinny być wypełniane przez osoby przeprowadzające kontrolę parametrów aparatu. Zamieszczono również propozycję procedury postępowania w przypadku

stwierdzenia nieprawidłowości działania kontrolowanych systemów lub przekroczenia tolerancji sprawdzanych parametrów.

Protokół opracowano w założeniu, że w każdym ośrodku nadal będzie prowadzona rejestracja awarii i napraw akceleratorów przez pracowników serwisu aparatury oraz będzie istniała szczegółowa dokumentacja wyników pomiarów dozymetrycznych przeprowadzanych przez fizyków.

Opracowanie wykonano na podstawie danych zawartych w pracach [1-13] oraz doświadczeń własnych autorów.

5

KONTROLE WYKONYWANE CODZIENNIE

Kontrola parametrów technicznych akceleratora oraz wydajności wiązek wykonywana przez techników radioterapii

5.1. Kontrola systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego

Sprawdzić poprawność działania systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego. Kontrolę przeprowadzić dla dwóch przypadków:

a) włączyć wiązkę i po chwili otworzyć drzwi do pomieszczenia terapeutycznego;

Otworzenie drzwi do pomieszczenia terapeutycznego powinno spowodować wyłączenie wiązki.

b) otworzyć drzwi do pomieszczenia terapeutycznego i spróbować włączyć wiązkę.

Włączenie wiązki, przy otwartych drzwiach do pomieszczenia terapeutycznego, powinno być niemożliwe.

5.2. Kontrola telemetru

Wizualnie sprawdzić ostrość skali telemetru.

5.3. Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla kolimatora wiązek promieniowania X oraz dla zmiennego kolimatora wiązek elektronów.

Sprawdzić zgodność wymiarów pola świetlnego, mierzonych wzdłuż osi głównych pola, z wartościami odczytanymi na elektronicznych wskaźnikach wielkości pola.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Kartkę papieru milimetrowego umieścić na stole terapeutycznym, w odległości izocentrycznej. Posługując się elektronicz-

nymi wskaźnikami wielkości pola ustawić pole o wymiarach 10 cm × 10 cm. Dla kolimatora wiązek promieniowania X sprawdzić zgodność rzeczywistych wymiarów pola świetlnego z wartościami odczytanymi na wskaźnikach elektronicznych.

Następnie, powtórzyć procedurę kontroli wymiarów pola świetlnego dla zmiennego kolimatora wiązek elektronów.

Tolerancja: ± 2 mm dla każdego wymiaru pola.

5.4. Kontrola centratorów

- a) Sprawdzić, czy po włączeniu symulacji świetlnej, wszystkie centratory włączają się oraz czy gasną po jej wyłączeniu.
- b) Za pomocą kartki papieru ustawionej pionowo, w środku pola świetlnego, równoległe do podłużnej osi głównej pola sprawdzić, czy wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się ze sobą.

Tolerancja: 2 mm

5.5. Kontrola wydajności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Posługując się elektronicznymi wskaźnikami wielkości pola ustawić pole o wymiarach 10 cm × 10 cm. Fantom z metapleksu, z umieszczoną w nim komorą jonizacyjną, ustawić na stole terapeutycznym tak, aby krzyż narysowany na powierzchni fantomu, określający położenie komory, pokrywał się z obrazem krzyża wyznaczającego osie główne pola. Powierzchnia fantomu powinna znajdować się w odległości izocentrycznej lub innej, ustalonej przez fizyków. Dla każdej wiązki promieniowania, dla ustalonej liczby jednostek monitorowych, wykonać kilka pomiarów jonizacji. Wyniki uśrednić, a następnie sprowadzić do warunków normalnych ciśnienia i temperatury.

Tolerancja: dla każdej wiązki promieniowania, wynik pomiarów powinien zawierać się w granicach określonych przez fizyków.

Do pomiarów wydajności wiązek promieniowania X wygodnie jest użyć fantomu, w postaci płyty z metapleksu, zamocowanego do głowicy akceleratora (np. w miejscu mocowania tacy do osłon).

6

KONTROLE WYKONYWANE RAZ W TYGODNIU

A. Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana przez pracowników serwisu aparatury

6.1. Kontrola telemetru

Sprawdzić poprawność wskazań telemetru w odległości izocentrycznej.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Na stole terapeutycznym, ustawionym w spodziewanej odległości izocentrycznej, zaznaczyć położenie obrazu środka krzyża wyznaczającego środek pola. Zmieniając położenie ramienia akceleratora w zakresie $\pm 30^\circ$ obserwować zmiany położenia obrazu środka krzyża. Znaleźć takie położenie stołu w kierunku pionowym, w którym obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy podczas obrotu ramienia akceleratora. Można wtedy przyjąć, że stół ustawiony jest w odległości izocentrycznej. W tym położeniu stołu sprawdzić, czy telemetr wskazuje nominalną odległość źródło - izocentrum.

Tolerancja: ± 2 mm.

W przypadku przekroczenia granic tolerancji, kontrolę należy rozpocząć od wyznaczenia położenia izocentrum mechanicznego (patrz punkt 1.8.), a następnie sprawdzić wskazania telemetru zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 1.10.

6.2. Kontrola centratorów

Sprawdzić ustawienie wiązek światła laserowego z centratorów bocznych (każdy z centratorów bocznych emituje dwie przecinające się wiązki światła), z centratora strzałkowego (centrator strzałkowy emituje jedną wiązkę światła) oraz z centratora wstecznego (centrator wsteczny emituje dwie przecinające się wiązki światła):

a) wiązki światła laserowego powinny przechodzić przez izocentrum mechaniczne;

Po wyznaczeniu izocentrum mechanicznego (patrz punkt 1.8.) zapamiętano jego położenie względem obrazu środka krzyża, w położeniu ramienia akceleratora 0° , w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, w odległości izocentrycznej.

b) wiązki światła laserowego powinny być, odpowiednio, pionowe lub poziome. Ponadto, wiązki pionowe powinny być równoległe do odpowiednich osi głównych pola świetlnego w obszarze ± 20 cm od środka pola.

Prostym przyrządem do przeprowadzenia kontroli centratorów może być ekran składający się z cienkiej, prostokątnej płytki z metapleksu połączonej z prostokątną ekierką umożliwiającą stabilne, pionowe ustawienie ekranu. Na ekranie należy narysować dwie przecinające się linie, równoległe do krawędzi płytki (Ryc. 4).

A. Kontrola centratorów bocznych

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Na stole terapeutycznym położyć sztywną, wypoziomowaną płytę (np. z metapleksu). Ustawić stół tak, aby płyta znajdowała się w odległości izocentrycznej (patrz punkt 6.1.). Na płycie ustawić ekran pionowo tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do podłużnej (strzałkowej) osi pola świetlnego, a pionowa linia narysowana na ekranie przechodziła przez izocentrum mechaniczne (patrz podpunkt a). Sprawdzić, czy pionowe wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się z linią narysowaną na ekranie. Następnie, przesuwając ekran równoległe wzdłuż poprzecznej osi pola świetlnego o ± 20 cm od środka pola sprawdzić, czy w całym zakresie odległości, pionowe wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się z linią narysowaną na ekranie. Sprawdzić, czy poziome wiązki światła z centratorów bocznych „ślizgają” się po powierzchni płyty w obszarze ± 20 cm od środka pola.

Tolerancja: 2 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od środka pola.

Ponadto, odległość między wiązkami światła z centratorów bocznych, w obszarze ± 20 cm od środka pola, nie może przekraczać 2 mm.

W przypadku przekroczenia granic tolerancji, kontrolę należy rozpocząć od wyznaczenia położenia izocentrum mechanicznego (patrz punkt 1.8.), a następnie sprawdzić ustawienie centratorów bocznych zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 1.9.

Uwaga: Po zakończeniu kontroli centratorów bocznych nie zmieniać położeń: ramienia i kolimatora, akceleratora oraz stołu terapeutycznego.

B. Kontrola centratora strzałkowego

Ustawić ekran pionowo tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do poprzecznej osi pola świetlnego, a pionowa linia narysowana na ekranie przechodziła przez izocentrum mechaniczne (patrz podpunkt a). Sprawdzić, czy wiązka światła z centratora strzałkowego pokrywa się z pionową linią narysowaną na ekranie. Następnie, przesuwając ekran równoległe wzdłuż podłużnej osi pola świetlnego o ± 20 cm od środka

pola sprawdzić, czy w całym zakresie odległości, wiązka światła z centratora strzałkowego pokrywa się z pionową linią narysowaną na ekranie.

Tolerancja: 2 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od środka pola.

W przypadku przekroczenia granic tolerancji, kontrolę należy rozpocząć od wyznaczenia położenia izocentrum mechanicznego (patrz punkt 1.8.), a następnie sprawdzić ustawienie centratora strzałkowego zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 1.9.

C. Kontrola centratora wstecznego (back-pointera)

Ustawić stół terapeutyczny w odległości izocentrycznej (patrz punkt 6.1.). Używając części stołu z folią mylarową sprawdzić, czy punkt przecięcia wiązek światła z centratora wstecznego pokrywa się z izocentrum mechanicznym (patrz podpunkt a). Następnie, nie zmieniając położenia stołu, ustawić ramię akceleratora w położeniu 180° i powtórzyć procedurę kontroli.

Tolerancja: 2 mm w każdym położeniu ramienia akceleratora.

W przypadku przekroczenia granic tolerancji, kontrolę należy rozpocząć od wyznaczenia położenia izocentrum mechanicznego (patrz punkt 1.8.), a następnie sprawdzić ustawienie centratora wstecznego zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 1.9.

6.3. Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla kolimatora wiązek promieniowania X oraz dla zmiennego kolimatora wiązek elektronów.

a) Sprawdzić zgodność wymiarów pola świetlnego, mierzonych wzdłuż osi głównych pola, z wartościami odczytanymi na elektronicznych wskaźnikach wielkości pola.

Tolerancja: ± 2 mm dla każdego wymiaru pola.

b) Sprawdzić zgodność pola świetlnego z polem wzorcowym, porównując wzajemne położenie boków obydwu pól.

Tolerancja: odległość między odpowiednimi bokami pola świetlnego i pola wzorcowego nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Kartkę papieru milimetrowego, z narysowanym polem wzorcowym, umieścić na stole terapeutycznym, w odległości izocentrycznej tak, aby środek geometryczny pola wzorcowego pokrywał się z cieniem środka krzyża. Kontrolę przeprowadzić dla pól: małego, średniego i dużego (np.: $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ i $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$).

6.4. Kontrola wyposażenia dodatkowego akceleratora: kolimatorów wiązek elektronów, klinów mechanicznych, osłon i tac do osłon

- a) Sprawdzić wizualnie, czy akcesoria nie są uszkodzone mechanicznie.
- b) Sprawdzić prawidłowość zamocowania klinów mechanicznych w swoich tacach.
- c) Sprawdzić prawidłowość mocowania kolimatorów wiązek elektronów, tac z klinami mechanicznymi oraz tac do osłon do głowicy akceleratora.
- d) Sprawdzić prawidłowość działania systemu kodującego kolimatory wiązek elektronów, kliny mechaniczne i tace do osłon.

B. Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana przez fizyków

6.5. Kontrola wydajności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Wydajność W [Gy/MU] wiązki promieniowania zdefiniowana jest jako dawka pochłoniętej w wodzie D [Gy], zmierzona w warunkach referencyjnych, przypadająca na jednostkę monitorową [MU].

Pomiary przeprowadzić w fantomie z metapleksu, za pomocą tego samego sprzętu (dawkomierza, komory jonizacyjnej i fantomu) i w takiej samej geometrii, jakie zastosowano w czasie wyznaczania współczynnika A po raz pierwszy, po instalacji akceleratora (patrz punkt 2.6.). Dla danej wiązki promieniowania, na podstawie wskazań komory jonizacyjnej, sprowadzonych do warunków normalnych ciśnienia i temperatury, M oraz wyznaczonego w punkcie 2.6. współczynnika A określić wartość dawki pochłoniętej w wodzie D , w warunkach referencyjnych:

$$D \text{ [Gy]} = M \text{ [dz]} \cdot A \text{ [Gy/dz]}$$

a następnie wartość wydajności W .

Tolerancja: dla każdej wiązki promieniowania, wartość wydajności W nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości przyjętej w planowaniu leczenia.

6.6. Kontrola powtarzalności wydajności wiązek promieniowania

Pomiary przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Powtarzalność wydajności wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$P = \frac{100}{\bar{W}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\bar{W} - W_i)^2}{n-1}} \quad [\%]$$

gdzie:

W_i — wartość wydajności wiązki w i -tym pomiarze [Gy/MU]

\bar{W} — średnia wartość wydajności wiązki [Gy/MU]

n — liczba pomiarów; $n \geq 5$

Na podstawie pomiarów wydajności (patrz punkt 6.5.), zgodnie z powyższym wzorem, określić powtarzalność wydajności dla każdej wiązki promieniowania.

Tolerancja: 0,5%

7

KONTROLE WYKONYWANE RAZ NA KWARTAŁ I RAZ W ROKU

A. Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana przez fizyków i pracowników serwisu aparatury

7.1. Kontrola świateł informacyjnych i ostrzegawczych

Sprawdzić poprawność działania wszystkich świateł informacyjnych i ostrzegawczych w pomieszczeniu terapeutycznym i na konsoli akceleratora.

7.2. Kontrola ostrzegawczych sygnałów dźwiękowych

Sprawdzić poprawność działania wszystkich ostrzegawczych sygnałów dźwiękowych.

7.3. Kontrola systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego

Sprawdzić poprawność działania systemu blokady drzwi wejściowych do pomieszczenia terapeutycznego. Kontrolę przeprowadzić dla dwóch przypadków:

a) włączyć wiązkę i po chwili otworzyć drzwi do pomieszczenia terapeutycznego; Otworzenie drzwi do pomieszczenia terapeutycznego powinno spowodować wyłączenie wiązki.

b) otworzyć drzwi do pomieszczenia terapeutycznego i spróbować włączyć wiązkę.

Włączenie wiązki, przy otwartych drzwiach do pomieszczenia terapeutycznego, powinno być niemożliwe.

7.4. Kontrola wyłączników bezpieczeństwa

Sprawdzić poprawność działania wszystkich wyłączników bezpieczeństwa w pomieszczeniu terapeutycznym i na konsoli akceleratora.

Wciśnięcie któregośkolwiek wyłącznika bezpieczeństwa powinno spowodować natychmiastowe wyłączenie zasilania akceleratora.

7.5. Kontrola awaryjnego licznika dawki

Sprawdzić poprawność wskazań awaryjnego licznika dawki. Kontrolę przeprowadzić dla dwóch przypadków:

- a) sprawdzić, czy przed włączeniem wiązki licznik wskazuje zero jednostek monitorowych;
- b) sprawdzić, czy w przypadku awaryjnego wyłączenia wiązki licznik wskazuje poprawną liczbę jednostek monitorowych.

Tolerancja: zero jednostek monitorowych.

7.6. Kontrola położzeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchów obrotowych ramienia i kolimatora akceleratora

A. Kontrola położzeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchu obrotowego ramienia akceleratora

Posługując się poziomą przyłożoną do powierzchni bazowej kolimatora ustawić ramię akceleratora w położeniu pionowym.

- a) Sprawdzić poprawność odczytu elektronicznego wskaźnika kąta obrotu ramienia.
- b) Sprawdzić poprawność wskazania na mechanicznej skali kąta obrotu ramienia.

W podobny sposób skontrolować pozostałe położenia: 90°, 180° i 270° dla ruchu obrotowego ramienia akceleratora.

Tolerancja: $\pm 0,5^\circ$ dla wskaźnika elektronicznego; $\pm 1,0^\circ$ dla skali mechanicznej.

B. Kontrola położzeń: 0°, 90°, 180° i 270° dla ruchu obrotowego kolimatora akceleratora

Ustawiając ramię akceleratora kolejno w położeniach: około 30°, 0° i 330° zaznaczać, na stole terapeutycznym, znajdującym się poza izocentrum, położenia obrazu środka krzyża (wyznaczającego środek pola). Przez zaznaczone punkty poprowadzić prostą. Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0°. Posługując się wskaźnikiem

elektronicznym lub skalą mechaniczną ustawić kolimator w położeniu 0° , a następnie skorygować jego położenie tak, aby obraz jednej ze strun tworzących krzyż pokrył się z prostą poprowadzoną przez zaznaczone punkty. Jest to położenie 0° dla ruchu obrotowego kolimatora.

- a) Sprawdzić poprawność odczytu elektronicznego wskaźnika kąta obrotu kolimatora.
- b) Sprawdzić poprawność wskazania na mechanicznej skali kąta obrotu kolimatora.

W podobny sposób skontrolować pozostałe położenia: 90° , 180° i 270° dla ruchu obrotowego kolimatora akceleratora.

Tolerancja: $\pm 0,5^\circ$ dla wskaźnika elektronicznego; $\pm 1,0^\circ$ dla skali mechanicznej.

7.7. Kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej

- a) Sprawdzić, czy w położeniu ramienia akceleratora 0° oś obrotu kolimatora jest pionowa.
- b) Sprawdzić, czy oś symulacji świetlnej, wyznaczona przez źródło światła (symulujące źródło promieniowania) i środek krzyża (wyznaczający środek pola), jest zgodna z osią obrotu kolimatora.

Uwaga: W procedurze kontroli wykorzystywany będzie pionowy ruch stołu terapeutycznego. Należy dokonać kontroli tego ruchu.

Do blatu stołu przytwierdzić pion. Ustawić stół w najwyższym położeniu i zaznaczyć na podłodze położenie wierzchołka pionu. Następnie ustawić stół w najniższym położeniu. Różnica wskazań pionu w obu położeniach stołu nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Do głowicy akceleratora przytwierdzić wskaźnik tak, aby obracał się razem z kolimatorem, a jego wierzchołek dotykał stołu terapeutycznego w pobliżu obrazu środka krzyża. Na stole terapeutycznym, ustawionym w odległości izocentrycznej, zaznaczać położenia wierzchołka wskaźnika i położenia obrazu środka krzyża podczas obrotu kolimatora o kąt 360° . Wierzchołek wskaźnika zakreśli okrąg. Obraz środka krzyża pozostanie nieruchomy lub zakreśli mały okrąg. Następnie obniżyć stół o 20 cm i powtórzyć procedurę.

Oś obrotu kolimatora wyznaczona jest przez środki okręgów zakreślonych przez wierzchołek wskaźnika w obu położeniach stołu.

Tolerancja: odległość między środkami okręgów, zakreślonych przez wierzchołek wskaźnika w obu położeniach stołu, nie może przekraczać 2 mm.

Można wtedy przyjąć, że oś obrotu kolimatora jest pionowa.

Położenie źródła światła i środka krzyża, względem osi obrotu kolimatora, można określić na podstawie obrazów środka krzyża uzyskanych podczas obrotu kolimatora. Interpretacja wyników zależy od tego, czy w danym akceleratorze źródło światła jest nieruchome, czy obraca się razem z kolimatorem.

A. Źródło światła nieruchome podczas obrotu kolimatora (Ryc. 1A)

- a) Podczas obrotu kolimatora, obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy na osi obrotu kolimatora — oznacza to, że źródło światła i środek krzyża znajdują się na osi obrotu kolimatora.
- b) Obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy poza osią obrotu kolimatora — źródło światła znajduje się poza osią obrotu kolimatora, środek krzyża znajduje się na osi obrotu kolimatora.
- c) Obraz środka krzyża zakreśla okrąg, którego środek leży na osi obrotu kolimatora — źródło światła znajduje się na osi obrotu kolimatora, środek krzyża znajduje się poza osią obrotu kolimatora.
- d) Obraz środka krzyża zakreśla okrąg, którego środek leży poza osią obrotu kolimatora — źródło światła i środek krzyża znajdują się poza osią obrotu kolimatora.

B. Źródło światła obracające się razem z kolimatorem (Ryc. 1B)

- a) Obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy na osi obrotu kolimatora — oznacza to, że źródło światła i środek krzyża znajdują się na osi obrotu kolimatora.
- b) Obraz środka krzyża zakreśla okrąg, którego środek leży na osi obrotu kolimatora — źródło światła, albo środek krzyża, albo źródło światła i środek krzyża znajdują się poza osią obrotu kolimatora.

W przypadku opisanym w punkcie B.b., w celu określenia położenia źródła światła i środka krzyża względem osi obrotu kolimatora, należy przeprowadzić dodatkowy test. Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Umieścić wskaźnik tak, aby nie obracał się razem z kolimatorem, a jego wierzchołek znajdował się na osi obrotu kolimatora. Na stole terapeutycznym zaznaczać położenia obrazu wierzchołka wskaźnika podczas obrotu kolimatora o kąt 360° .

- c) Obraz wierzchołka wskaźnika pozostaje nieruchomy — oznacza to, że źródło światła znajduje się na osi obrotu kolimatora.
- d) Obraz wierzchołka wskaźnika zakreśla okrąg — źródło światła znajduje się poza osią obrotu kolimatora.

Po ustawieniu źródła światła na osi obrotu kolimatora należy skontrolować położenie środka krzyża względem tej osi. Jeśli podczas obrotu kolimatora obraz środka krzyża pozostaje nieruchomy (na osi obrotu kolimatora) oznacza to, że środek

krzyża znajduje się na osi obrotu kolimatora. Jeśli obraz środka krzyża zakreśla okrąg (wokół osi obrotu kolimatora) - środek krzyża znajduje się poza osią obrotu kolimatora.

Tolerancja: odległość obrazu środka krzyża od osi obrotu kolimatora nie może przekraczać 2 mm. Warunek powinien być spełniony w każdym położeniu kolimatora.

7.8. Kontrola izocentrum mechanicznego

Izocentrum mechaniczne jest to punkt w przestrzeni, w którym oś obrotu kolimatora przecina się z osią obrotu ramienia akceleratora.

Prostym przyrządem ułatwiającym wyznaczenie położenia izocentrum mechanicznego może być fantom z metapleksu, w kształcie sześcianu o boku około 4 cm. Na każdej ze ścian fantomu należy precyzyjnie narysować dwie linie przecinające się w środku ściany, równoległe do jej krawędzi (Ryc. 2).

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Fantom zamocować (na statywie lub na stole terapeutycznym) tak, aby podczas pełnego obrotu ramienia akceleratora możliwe było obserwowanie obrazu krzyża (wyznaczającego osie główne pola) na ścianach fantomu. Wypoziomowany fantom ustawić tak, aby górna ściana znajdowała się w odległości mniejszej o 2 cm od nominalnej odległości izocentrycznej, a obraz krzyża pokrywał się z liniami narysowanymi na tej ścianie. Środek geometryczny sześcianu znajduje się wtedy w pobliżu spodziewanego położenia izocentrum mechanicznego. Ustawiając ramię akceleratora kolejno w położeniach 0° i 180° , a następnie 90° i 270° zmieniać położenie fantomu tak, aby znalazł się w położeniu pośrednim w stosunku do obrazów środka krzyża, obserwowanych na przeciwległych ścianach fantomu (Ryc. 3).

Środek geometryczny fantomu wyznacza położenie izocentrum mechanicznego wtedy, gdy fantom znajduje się w takim położeniu, że suma odległości obrazów środka krzyża (obserwowanych na ścianach fantomu we wszystkich położeniach ramienia akceleratora) od środka fantomu jest najmniejsza.

Tolerancja: podczas pełnego obrotu ramienia akceleratora obraz środka krzyża powinien znajdować się w obszarze kuli o średnicy 2 mm; nie może przekraczać obszaru kuli o średnicy 4 mm. Środkiem kuli jest izocentrum mechaniczne.

Położenie izocentrum mechanicznego będzie potrzebne w dalszych procedurach kontroli. Należy je więc „zaznaczyć” w przestrzeni za pomocą centratorów, tzn. wiązki światła laserowego z centratorów bocznych oraz z centratora strzałkowego ustawić tak, aby przechodziły przez środki odpowiednich ścian fantomu. Ze względu na małe wymiary fantomu można przyjąć, że tak ustawione wiązki światła będą przechodziły przez środek geometryczny fantomu wyznaczający położenie izocentrum mechanicznego.

Dla celów cotygodniowej kontroli centratorów, wygodnie jest zapamiętać położenie izocentrum mechanicznego względem obrazu środka krzyża, w położeniu ramienia akceleratora 0° , w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, w odległości izocentrycznej.

Przy wyznaczaniu położenia izocentrum mechanicznego, zamiast opisanego fantomu, można posłużyć się cienkim, sztywnym wskaźnikiem zamocowanym niezależnie od akceleratora tak, aby jego wierzchołek znajdował się blisko przewidywanego położenia izocentrum i aby możliwy był pełny obrót ramienia akceleratora bez zmiany położenia wskaźnika.

7.9. Kontrola centratorów

Sprawdzić ustawienie wiązek światła laserowego z centratorów bocznych (każdy z centratorów bocznych emituje dwie przecinające się wiązki światła), z centratora strzałkowego (centrator strzałkowy emituje jedną wiązkę światła) oraz z centratora wstecznego (centrator wsteczny emituje dwie przecinające się wiązki światła):

a) wiązki światła laserowego powinny przechodzić przez izocentrum mechaniczne.

W czasie „zaznaczania” w przestrzeni izocentrum mechanicznego (patrz punkt 7.8.) wszystkie centratory zostały ustawione tak, aby emitowane przez nie wiązki światła przechodziły przez izocentrum;

b) wiązki światła laserowego powinny być, odpowiednio, pionowe lub poziome. Ponadto, wiązki pionowe powinny być równoległe do odpowiednich osi głównych pola świetlnego w obszarze ± 20 cm od środka pola.

Prostym przyrządem do przeprowadzenia kontroli centratorów może być ekran składający się z cienkiej, prostokątnej płytki z metapleksu połączonej z prostokątną ekierką umożliwiającą stabilne, pionowe ustawienie ekranu. Na ekranie należy narysować dwie przecinające się linie, równoległe do krawędzi płytki (Ryc. 4).

A. Kontrola centratorów bocznych

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Na stole terapeutycznym położyć sztywną, wypoziomowaną płytę (np. z metapleksu). Na płycie ustawić ekran pionowo tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do podłużnej (strzałkowej) osi pola świetlnego i przechodziła przez obraz środka krzyża. Przesunąć stół tak, aby punkt przecięcia wiązek światła laserowego z centratorów bocznych pokrył się ze środkiem krzyża narysowanego na ekranie. Sprawdzić, czy wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się z liniami narysowanymi na ekranie. Następnie, przesuwając ekran równoległe wzdłuż poprzecznej osi pola świetlnego o ± 20 cm od środka pola sprawdzić, czy w całym zakresie odległości, wiązki światła z centratorów bocznych pokrywają się z liniami narysowanymi na ekranie.

Tolerancja: 1 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od środka pola.

Ponadto, odległość między wiązkami światła z centratorów bocznych, w obszarze ± 20 cm od środka pola, nie może przekraczać 1 mm.

Uwaga: Po zakończeniu kontroli centratorów bocznych nie zmieniać położeń: ramienia i kolimatora akceleratora oraz stołu terapeutycznego.

B. Kontrola centratora strzałkowego

Ustawić ekran pionowo tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do poprzecznej osi pola świetlnego, przechodziła przez obraz środka krzyża, a wiązka światła laserowego z centratora strzałkowego przechodziła przez środek krzyża narysowanego na ekranie. Sprawdzić, czy wiązka światła z centratora strzałkowego pokrywa się z pionową linią narysowaną na ekranie. Następnie, przesuwając ekran równoległe wzdłuż podłużnej osi pola świetlnego o ± 20 cm od środka pola sprawdzić, czy w całym zakresie odległości, wiązka światła z centratora strzałkowego pokrywa się z pionową linią narysowaną na ekranie.

Tolerancja: 1 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od środka pola.

C. Kontrola centratora wstecznego

Ustawić stół terapeutyczny w odległości izocentrycznej. Używając części stołu z folią mylarową sprawdzić, czy punkt przecięcia wiązek światła z centratora wstecznego pokrywa się z izocentrum mechanicznym. Następnie, nie zmieniając położenia stołu, ustawić ramię akceleratora w położeniu 180° i powtórzyć procedurę kontroli.

Tolerancja: 2 mm w każdym położeniu ramienia akceleratora.

7.10. Kontrola telemetru

Sprawdzić poprawność wskazań telemetru w zakresie odległości ± 20 cm od izocentrum w położeniach ramienia akceleratora: 0° , 90° i 270° .

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Wzorcowy wskaźnik odległości ustawić wzdłuż osi symulacji świetlnej. Wzorcowym wskaźnikiem odległości może być pręt o długości co najmniej 40 cm, z naniesioną podziałką centymetrową, zamocowany w podstawie umożliwiającej jego stabilne, pionowe ustawienie. W izocentrum telemetr powinien wskazywać nominalną odległość źródło-izocentrum. Porównać wskazania telemetru z wzorcowym wskaźnikiem odległości w całym, sprawdzanym zakresie odległości od izocentrum.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 90° . Na stole terapeutycznym ustawić ekran tak, aby jego płaszczyzna była równoległa do podłużnej osi pola świetlnego i przechodziła przez obraz środka krzyża. Przesuwając ekran równolegle wzdłuż poprzecznej osi pola świetlnego sprawdzić poprawność wskazań telemetru w całym, sprawdzanym zakresie odległości od izocentrum. Następnie ustawić ramię akceleratora w położeniu 270° i powtórzyć procedurę kontroli telemetru.

Tolerancja: ± 2 mm w całym, sprawdzanym zakresie odległości od izocentrum.

7.11. Kontrola symulacji świetlnej pola promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla kolimatora wiązek promieniowania X oraz dla zmiennego kolimatora wiązek elektronów.

a) Sprawdzić zgodność wymiarów pola świetlnego, mierzonych wzdłuż osi głównych pola, z wartościami odczytanymi na elektronicznych wskaźnikach wielkości pola.

Tolerancja: ± 2 mm dla każdego wymiaru pola.

b) Sprawdzić zgodność pola świetlnego z polem wzorcowym, porównując wzajemne położenie boków obydwu pól.

Tolerancja: odległość między odpowiednimi bokami pola świetlnego i pola wzorcowego nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Kartkę papieru milimetrowego, z narysowanym polem wzorcowym, umieścić na stole terapeutycznym, w odległości izocentrycznej tak, aby środek geometryczny pola wzorcowego pokrywał się z cieniem środka krzyża. Kontrolę przeprowadzić dla pól: małego, średniego i dużego (np.: $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ i $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$).

Kontrolę pola świetlnego przeprowadzić także w położeniach ramienia akceleratora 90° i 270°.

7.12. Kontrola wyposażenia dodatkowego akceleratora: kolimatorów wiązek elektronów, klinów mechanicznych, osłon i tac do osłon

- a) Sprawdzić wizualnie, czy akcesoria nie są uszkodzone mechanicznie.
- b) Sprawdzić prawidłowość zamocowania klinów mechanicznych w swoich tacach.
- c) Sprawdzić prawidłowość mocowania kolimatorów wiązek elektronów, tac z klinami mechanicznymi oraz tac do osłon do głowicy akceleratora.
- d) Sprawdzić prawidłowość działania systemu kodującego kolimatory wiązek elektronów, kliny mechaniczne i tace do osłon.

7.13. Kontrola systemów interwizji i interfonii

Sprawdzić poprawność działania systemów interwizji i interfonii w pomieszczeniu terapeutycznym i w sterowni akceleratora.

B. Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana przez fizyków

7.14. Kontrola pola promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

- a) Sprawdzić zgodność wymiarów pola promieniowania, mierzonych wzdłuż osi głównych pola, z wartościami odczytanymi na elektronicznych wskaźnikach wielkości pola.

Tolerancja: ± 2 mm dla każdego wymiaru pola.

- b) Sprawdzić symetrię pola promieniowania względem obrazu środka krzyża.

Tolerancja: odległość środka pola promieniowania od obrazu środka krzyża nie może przekraczać 2 mm.

- c) Sprawdzić zgodność pola promieniowania z polem świetlnym, porównując wzajemne położenie boków obydwu pól.

Zgodność pola promieniowania z polem świetlnym zależy od wzajemnego położenia źródła promieniowania i źródła światła (Ryc. 5).

Tolerancja: odległość między odpowiednimi bokami pola promieniowania i pola świetlnego nie może przekraczać 2 mm.

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Film w światłoszczelnej, papierowej kopercie umieścić na stole terapeutycznym, w odległości izocentrycznej. Posługując się elektronicznymi wskaźnikami wielkości pola ustawić pole o wymiarach $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$. Na filmie zaznaczyć (np. przez nakłucie filmu przez kopertę) boki lub rogi pola świetlnego oraz położenie obrazu środka krzyża. Na filmie położyć płytę z metapleksu o grubości równoważnej co najmniej głębokości położenia maksimum dawki w wodzie d_{\max} . Napromienić film stosując dawkę z liniowego zakresu zależności gęstości optycznej od dawki. Za pomocą densytometru odczytać z filmu, po odjęciu tła, rozkłady gęstości optycznej wzdłuż osi głównych pola promieniowania. Wielkość pola promieniowania określona jest położeniem 50% wartości gęstości optycznej. Jako 100% przyjmuje się wartość gęstości optycznej w osi wiązki.

Kontrolę pola promieniowania można przeprowadzić w fantomie wodnym mierząc profile wiązek w osiach głównych pola.

Raz w roku przeprowadzić kontrolę pola promieniowania w położeniach ramienia akceleratora: 90° i 270°.

7.15. Kontrola jednorodności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Jednorodność wiązki promieniowania określa się na podstawie rozkładów dawki w wodzie, w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, na głębokości d ($d =$ np. 10 cm dla wiązek promieniowania X; $d = d_{\max}$ dla wiązek elektronów), wzdłuż osi głównych pola promieniowania, w obszarze 80% wymiarów pola (na głębokości pomiaru).

Jednorodność wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$H = 100 \left[\frac{D_{\max}(d)}{D_{\min}(d)} - 1 \right] \quad [\%]$$

gdzie:

$D_{\max}(d)$ — maksymalna wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola

$D_{\min}(d)$ — minimalna wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0°. Pomiar przeprowadzić w wodzie, za pomocą trójwymiarowego analizatora pola promieniowania. Dla każdej wiązki promieniowania zmierzyć profile wzdłuż osi głównych pola, dla co najmniej dwóch wielkości pola (np.: 10 cm × 10 cm i maksymalnego pola kwadratowego). Pomiar dla wiązek fotonów przeprowadzić w geometrii stałej odległości SSD (*Source Surface Distance*) albo w geometrii izocentrum (SAD — *Source Axis Distance*). Pomiar dla wiązek elektronów przeprowadzić w geometrii stałej odległości SSD (Ryc. 6).

Tolerancja: 6% dla wiązek promieniowania X i 10% dla wiązek elektronów.

7.16. Kontrola symetrii wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Symetrię wiązki promieniowania określa się na podstawie rozkładów dawki w wodzie, w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, na głębokości d ($d =$ np. 10 cm dla wiązek promieniowania X, $d = d_{\max}$ dla wiązek elektronów), wzdłuż osi głównych pola promieniowania, w obszarze 80% wymiarów pola (na głębokości pomiaru).

Symetrię wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$S = 100 \cdot \max \left(\left| \frac{D_L(r, d)}{D_P(r, d)} - 1 \right| \right) \quad [\%]$$

gdzie:

$D_L(r, d)$ — wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania w lewej połowie pola, w odległości r od osi wiązki, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola

$D_P(r, d)$ — wartość w rozkładzie dawki wzdłuż osi głównej pola promieniowania w prawej połowie pola, w odległości r od osi wiązki, na głębokości d , w obszarze 80% wymiaru pola

Na podstawie rozkładów dawki (profilu wiązek) zmierzonych w fantomie wodnym (patrz punkt 7.15.) określić symetrię każdej wiązki promieniowania wzdłuż osi głównych pola.

Tolerancja: 2% dla wiązek promieniowania X i dla wiązek elektronów.

7.17. Kontrola jakości wiązek promieniowania X oraz energii wiązek elektronów

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

A. Wiązki promieniowania X

TPR_{10}^{20} — parametr określający jakość wiązki wysokoenergetycznego promieniowania X, pośrednio określający energię wiązki, zdefiniowany jest jako stosunek dawek pochłoniętych w wodzie, zmierzonych na głębokościach: 20 cm (D_{20}) i 10 cm (D_{10}), w osi wiązki, w odległości 100 cm od źródła promieniowania, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm na poziomie detektora.

$$TPR_{10}^{20} = \frac{D_{20}}{D_{10}}$$

Pomiary przeprowadzić jedną z dwóch opisanych niżej metod:

- Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0°. Komorę jonizacyjną umieścić w fantomie wodnym, w osi wiązki, w odległości 100 cm od źródła promieniowania, na głębokości 20 cm, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm na poziomie komory. Określić dawkę na głębokości 20 cm (D_{20}). Następnie, nie zmieniając położenia komory, zmniejszyć ilość wody w fantomie tak, aby komora znalazła się na głębokości 10 cm i określić dawkę na tej głębokości (D_{10}). Na podstawie wyników pomiarów wyznaczyć wartość parametru TPR_{10}^{20} dla wiązki promieniowania X.
- Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0°. Komorę jonizacyjną umieścić w fantomie wodnym, w osi wiązki, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm na powierzchni fantomu. Powierzchnia fantomu powinna znajdować się w odległości 100 cm od źródła promieniowania. Określić dawkę na głębokościach: 10 cm (D_{10}) i 20 cm (D_{20}), a następnie korzystając z tabeli nr XIII raportu IAEA TRS nr 277 określić wartość parametru TPR_{10}^{20} dla wiązki promieniowania X.

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X.

Tolerancja: wartości procentowych dawek głębokich nie mogą różnić się więcej niż o ±1% od wartości wprowadzonych do systemu planowania leczenia.

B. Wiązki elektronów

\bar{E}_0 — średnia energia wiązki elektronów na powierzchni fantomu określana jest na podstawie zasięgu $^JR_{50}$ (tzn. głębokości w wodzie, w osi wiązki promieniowania, na której jonizacja wynosi 50% wartości maksymalnej) i zdefiniowana jest wzorem:

$$\bar{E}_0 = 0,818 + 1,935 \ ^JR_{50} + 0,040 (\ ^JR_{50})^2 \quad [\text{MeV}]$$

We wzorze zasięg $^JR_{50}$ ma wymiar [cm]
(raport IAEA TRS nr 381, wzór nr 10.3A, str. 66)

Ustawić ramię akceleratora w położeniu 0° . Pomiar przeprowadzić za pomocą komory jonizacyjnej w fantomie wodnym. Powierzchnia fantomu powinna znajdować się w odległości 100 cm od źródła promieniowania. Zmierzyć rozkład jonizacji wzdłuż osi wiązki promieniowania dla dużego pola tzn. dla pola o wymiarach co najmniej $12 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ w przypadku wiązek o energii $\bar{E}_0 \leq 15 \text{ MeV}$ i $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ dla wiązek o energii $\bar{E}_0 > 15 \text{ MeV}$. Z krzywej jonizacji odczytać wartość $^JR_{50}$, a następnie korzystając z powyższego wzoru określić wartość średniej energii \bar{E}_0 wiązki elektronów na powierzchni fantomu.

Tolerancja: wartość zasięgu $^JR_{50}$ nie może różnić się więcej niż o $\pm 1 \text{ mm}$ od wartości wprowadzonej do systemu planowania leczenia.

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek elektronów.

7.18. Kontrola wydajności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Wydajność W [Gy/MU] wiązki promieniowania zdefiniowana jest jako dawka pochłonięta w wodzie D [Gy] zmierzona w warunkach referencyjnych, przypadająca na jednostkę monitorową [MU].

Warunki referencyjne dla wiązek fotonów:

- geometria stałej odległości SSD albo geometria izocentrum,
- pole o wymiarach $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ (w odległości izocentrycznej),

- głębokość pomiaru w wodzie $d = 5$ cm (w przypadku wiązek, dla których $\text{TPR}_{10}^{20} \leq 0,7$) lub $d = 10$ cm (jeśli $\text{TPR}_{10}^{20} > 0,7$).

Warunki referencyjne dla wiązek elektronów:

- geometria stałej odległości SSD,
- pole o wymiarach $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ (w odległości izocentrycznej),
- głębokość pomiaru w wodzie $d = d_{\text{max}}$ (głębokość położenia maksimum dawki w wodzie) lub 1 cm (w przypadku wiązek, dla których $5 \leq \bar{E}_0$ [MeV] < 10), d_{max} lub 2 cm (jeśli $10 \leq \bar{E}_0$ [MeV] < 20), d_{max} lub 3 cm (jeśli $20 \leq \bar{E}_0$ [MeV] < 50). Dla danej wiązki, spośród proponowanych, należy wybrać większą głębokość.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Pomiar wydajności przeprowadzić w warunkach referencyjnych, za pomocą komory jonizacyjnej umieszczonej w fantomie wodnym, w osi wiązki promieniowania. Komora jonizacyjna, wraz z dawkomierzem, powinna posiadać aktualne świadectwo legalizacji wydane lub akceptowane przez krajowe Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych. Dla każdej wiązki promieniowania, na podstawie co najmniej pięciu pomiarów, zgodnie z raportem IAEA TRS nr 277 (dla wiązek fotonów) lub raportem IAEA TRS nr 381 (dla wiązek elektronów), określić wartość dawki pochłoniętej w wodzie oraz wartość wydajności w warunkach referencyjnych.

Wygodnie jest dokonać regulacji wydajności wiązek promieniowania tak, aby dla każdej wiązki w warunkach referencyjnych uzyskać: $W = 1 \text{ cGy/MU}$.

Tolerancja: wartość wydajności W nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości wprowadzonej do systemu planowania leczenia.

7.19. Kontrola współczynników wiążących wskazania komory w fantomie z metapleksu z dawką pochłoniętą w wodzie dla wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

W czasie eksploatacji klinicznej akceleratora konieczne jest przeprowadzanie częstej, regularnej kontroli wydajności wiązek promieniowania. Pomiar ten wygodniej jest wykonywać w fantomie z metapleksu niż w fantomie wodnym. Dla każdej wiązki promieniowania, konieczne jest więc znalezienie współczynnika wiążącego wskazania komory zmierzone w fantomie z metapleksu, z dawką pochłoniętą w wodzie. Dla potrzeb niniejszej pracy współczynnik ten oznaczmy literą A .

Dla danej wiązki promieniowania współczynnik A [Gy/dz] zdefiniowany jest jako stosunek dawki pochłoniętej w wodzie D [Gy], zmierzonej w warunkach referencyjnych, do wskazań komory jonizacyjnej sprowadzonych do warunków normalnych ciśnienia i temperatury M [dz], zmierzonych w fantomie z metapleksu, w geometrii pomiarowej, w jakiej wykonywana będzie okresowa kontrola wydajności wiązki. Obie wielkości powinny być zmierzone dla takiej samej liczby jednostek monitorowych.

$$A = \frac{D}{M} \quad [\text{Gy} / \text{dz}]$$

Pomiary przeprowadzić za pomocą tego samego sprzętu (dawkomierza, komory jonizacyjnej i fantomu z metapleksu) i w takiej samej geometrii, jakie zastosowano w czasie wyznaczania współczynników A po raz pierwszy, po instalacji akceleratora (patrz punkt 2.6.). Wskazania komory jonizacyjnej, zmierzone w fantomie z metapleksu, sprowadzić do warunków normalnych ciśnienia i temperatury i korzystając z wyznaczonych w punkcie 7.18. wartości dawki pochłoniętej w wodzie wyznaczyć wartości współczynników A dla wszystkich wiązek promieniowania.

Odstęp czasu między pomiarami w wodzie i pomiarami w fantomie z metapleksu powinien być możliwie jak najkrótszy, w celu zminimalizowania wpływu niestabilności pracy akceleratora. Od chwili zakończenia pomiarów w wodzie do czasu zakończenia pomiarów w fantomie z metapleksu nie można dokonywać żadnych regulacji wiązek.

Tolerancja: dla danej wiązki promieniowania, wartość współczynnika A nie może różnić się więcej niż o $\pm 1\%$ od wartości uzyskanej przy wyznaczaniu współczynnika po raz pierwszy.

Należy podkreślić, że zmiana sprzętu pomiarowego lub geometrii pomiarów w fantomie z metapleksu bezwzględnie wymaga wyznaczenia nowych wartości współczynników A dla wszystkich wiązek promieniowania. W celu kontroli uzyskanych wyników zaleca się, aby w krótkim czasie pomiary zostały przeprowadzone trzykrotnie.

7.20. Kontrola powtarzalności wydajności wiązek promieniowania

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Powtarzalność wydajności wiązki promieniowania można zdefiniować wzorem:

$$P = \frac{100}{\bar{W}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\bar{W} - W_i)^2}{n-1}} \quad [\%]$$

gdzie:

W_i — wartość wydajności wiązki w i -tym pomiarze [Gy/MU]

\bar{W} — średnia wartość wydajności wiązki [Gy/MU]

n — liczba pomiarów; $n \geq 5$

Na podstawie pomiarów wydajności (patrz punkt 7.18.), zgodnie z powyższym wzorem, określić powtarzalność wydajności dla każdej wiązki promieniowania.

Tolerancja: 0,5%

7.21. Kontrola proporcjonalności dawki pochłoniętej do jednostek monitorowych (raz w roku)

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Raz w roku sprawdzić liniowość zależności między liczbą jednostek monitorowych i odpowiadającą jej, zmierzoną wartością dawki pochłoniętej w wodzie, w całym zakresie wartości stosowanych w radioterapii.

Dla danej wiązki promieniowania wykonać pomiary dawki (geometria pomiarów jak w punkcie 7.18. lub 7.19.) dla co najmniej pięciu różnych liczb jednostek monitorowych. Do punktów pomiarowych dopasować prostą.

Tolerancja:

- dopasowana prosta powinna przechodzić przez początek układu współrzędnych z dokładnością do 1 MU;
- odchylenie zmierzonych wartości dawki od wartości dopasowanych nie może przekraczać 1%.

7.22. Kontrola pracy akceleratora w różnych położeniach ramienia aparatu

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Komorę jonizacyjną, w odpowiedniej nakładce „build-upowej”, umieścić w powietrzu, w izocentrum, w polu o wymiarach 10 cm × 10 cm. Wykonać pomiary jonizacji w czterech położeniach ramienia akceleratora: 0°, 90°, 180° i 270°. Wyniki pomiarów sprowadzić do warunków normalnych ciśnienia i temperatury. Wszystkie pomiary wykonać dla takiej samej liczby jednostek monitorowych.

Tolerancja:

- w każdym położeniu ramienia akceleratora wyniki pomiarów jonizacji powinny spełniać warunek powtarzalności (patrz punkt 7.20.);
- w każdym położeniu ramienia akceleratora wartość jonizacji nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości jonizacji zmierzonej w położeniu ramienia 0°.

Kontrolę można przeprowadzić za pomocą komory jonizacyjnej umieszczonej w fantomie z metapleksu zamocowanym bezpośrednio do głowicy akceleratora, np. w miejscu mocowania tacy do osłon.

7.23. Kontrola stabilności wydajności wiązek promieniowania podczas dnia pracy

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X oraz dla wszystkich wiązek elektronów.

Dwukrotnie w ciągu dnia przeprowadzić pomiary wydajności wiązki w fantomie wodnym lub w fantomie z metapleksu (geometria pomiarów jak w punkcie 7.18. lub 7.19.): na początku dnia pracy (W_1) i bezpośrednio po zakończeniu całodziennego pracy akceleratora (W_2). Wszystkie pomiary wykonać dla takiej samej liczby jednostek monitorowych.

Tolerancja:

- żadna z wartości W_1 nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości wydajności przyjętej w planowaniu leczenia;
- wartość wydajności W_2 nie może różnić się więcej niż o $\pm 2\%$ od wartości W_1 .

7.24. Kontrola danych wprowadzonych do systemów planowania leczenia (raz w roku)

Raz w roku przeprowadzić kontrolę współczynników klinów mechanicznych oraz współczynników pochłaniania w tacach do osłon.

A. Kontrola współczynników klinów mechanicznych

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X.

Dla każdego klina mechanicznego wyznaczyć współczynnik, określony jako stosunek wydajności dla pola klinowanego o wymiarach $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ do wydajności dla pola otwartego o takich samych wymiarach. Obie wielkości powinny być zmierzone w takiej samej geometrii.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Pomiar przeprowadzić za pomocą komory jonizacyjnej w takiej samej geometrii, w jakiej wykonywane były pomiary do systemu planowania leczenia. Oś komory powinna być ustawiona prostopadle do kierunku spadku klina. Wydajność dla pola klinowanego powinna być średnią z pomiarów przeprowadzonych w dwóch położeniach kolimatora: 0° i 180° lub 90° i 270° .

Tolerancja: dla każdego klina mechanicznego, wartość współczynnika nie może różnić się więcej niż o $\pm 1,5\%$ od wartości wprowadzonej do systemu planowania leczenia.

Ponadto, powyższe pomiary należy przeprowadzić po każdej wymianie tacy, w której osadzony jest klin mechaniczny.

B. Kontrola współczynników pochłaniania w tacach do osłon

Kontrolę przeprowadzić dla wszystkich wiązek promieniowania X.

Dla każdej tacy do osłon wyznaczyć współczynnik pochłaniania określony jako stosunek wydajności dla pola otwartego o wymiarach $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ do wydajności dla pola, o takich samych wymiarach, z wsuniętą tacą.

Ustawić ramię oraz kolimator akceleratora w położeniu 0° . Pomiary przeprowadzić za pomocą komory jonizacyjnej w takiej samej geometrii, w jakiej wykonywane były pomiary do systemu planowania leczenia.

Tolerancja: dla każdej tacy do osłon, wartość współczynnika pochłaniania nie może różnić się więcej niż o $\pm 1\%$ od wartości wprowadzonej do systemu planowania leczenia.

Ponadto, powyższe pomiary należy przeprowadzić po każdej wymianie tacy do osłon.

8

PROTOKÓŁY KONTROLI AKCELERATORA

8.1. Sposób wypełniania Protokołów Kontroli Akceleratora

Po sprawdzeniu parametrów akceleratora osoba przeprowadzająca kontrolę wypełnia **Protokół Kontroli Akceleratora**. Jeśli sprawdzany system działa prawidłowo lub jeśli wartość kontrolowanego parametru mieści się w granicach tolerancji, to należy wpisać znak (+) w odpowiedniej rubryce Protokołu. Jeśli wynik kontroli wszystkich parametrów jest pomyślny, to można przystąpić do napromieniania pacjentów. W tym przypadku potwierdzenie sprawności akceleratora przez Kierownika Radioterapii (w formie podpisu na Protokóle) nie jest konieczne.

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowego działania systemu lub przekroczenia granic tolerancji kontrolowanego parametru należy postępować zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 8.2.

8.2. Sposób postępowania w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości w czasie przeprowadzania kontroli akceleratora

A. Technicy radioterapii zawiadamiają pracowników serwisu aparatury lub fizyków

Po usunięciu nieprawidłowości, gdy wynik kontroli wszystkich parametrów jest pomyślny, należy wpisać znaki (+) we wszystkich rubrykach Protokołu Kontroli Akceleratora i można przystąpić do napromieniania pacjentów. W tym przypadku potwierdzenie sprawności akceleratora przez Kierownika Radioterapii (w formie podpisu na Protokóle) nie jest konieczne.

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości niemożliwej do usunięcia, w odpowiedniej rubryce Protokołu należy wpisać, czerwonym kolorem, znak (–) — w przypadku nieprawidłowego działania systemu, lub podać aktualną wartość — w przypadku przekroczenia granic tolerancji kontrolowanego parametru. **W przypadku nieprawidłowego działania blokad lub wyłączników bezpieczeństwa nie wolno kontynuować napromieniania pacjentów.** W pozostałych przypadkach decyzję o dalszym prowadzeniu napromieniania pacjentów podejmuje Kierownik Radioterapii, potwierdzając ją pisemną informacją w Protokóle Kontroli Akceleratora.

B. Pracownicy serwisu aparatury zawiadamiają Kierownika Radioterapii

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, niemożliwej do usunięcia, w odpowiedniej rubryce Protokołu należy wpisać, czerwonym kolorem, znak (–) — w przypadku nieprawidłowego działania systemu, lub podać aktualną wartość — w przypadku przekroczenia granic tolerancji kontrolowanego parametru. **W przypadku nieprawidłowego działania blokad lub wyłączników bezpieczeństwa nie wolno kontynuować napromieniania pacjentów.** W pozostałych przypadkach decyzję o dalszym prowadzeniu napromieniania pacjentów podejmuje Kierownik Radioterapii, potwierdzając ją pisemną informacją w Protokóle Kontroli Akceleratora.

C. Fizycy zawiadamiają pracowników serwisu aparatury

Po usunięciu nieprawidłowości, gdy wynik kontroli wszystkich parametrów jest pomyślny, należy wpisać znaki (+) we wszystkich rubrykach Protokołu Kontroli Akceleratora i można przystąpić do napromieniania pacjentów. W tym przypadku potwierdzenie sprawności akceleratora przez Kierownika Radioterapii (w formie podpisu na Protokóle) nie jest konieczne.

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, niemożliwej do usunięcia, w odpowiedniej rubryce Protokołu należy wpisać, czerwonym kolorem, znak (–) — w przypadku nieprawidłowego działania systemu, lub podać aktualną wartość — w przypadku przekroczenia granic tolerancji kontrolowanego parametru. **W przypadku nieprawidłowego działania blokad lub wyłączników bezpieczeństwa nie wolno kontynuować napromieniania pacjentów.** W pozostałych przypadkach decyzję o dalszym prowadzeniu napromieniania pacjentów podejmuje Kierownik Radioterapii, potwierdzając ją pisemną informacją w Protokóle Kontroli Akceleratora.

8.3. Przykłady Protokołów Kontroli Akceleratora

- D — Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana codziennie przez techników radioterapii
- E — Kontrola wydajności wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana codziennie przez techników radioterapii
- F — Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana raz w tygodniu przez pracowników serwisu aparatury
- G — Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i wiązek elektronów wykonywana raz w tygodniu przez fizyków

- H — Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana raz na kwartał przez fizyków i pracowników serwisu aparatury
- I — Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązki promieniowania X wykonywana raz na kwartał i raz w roku przez fizyków
- J — Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązki promieniowania X wykonywana raz w roku przez fizyków
- K — Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązki elektronów wykonywana raz na kwartał i raz w roku przez fizyków

D.

Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana codziennie przez techników radioterapii

Akcelerator: **Miesiąc:** **Rok:**

Wiązka: **Energia:** **MV / MeV**

DZIEŃ	PARAMETR KONTROLOWANY			PODPIS TECHNIKA RADIOTERAPII	PODPIS KIEROWNIKA RADIOTERAPII
	BLOKADA DRZWI	TELEMETR	SYM. ŚWIETLNA TOLER. 2 MM		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

E.**Kontrola wydajności wiązek promieniowania X i elektronów wykonywana codziennie przez techników radioterapii**

Akcelerator: Miesiąc: Rok:

Wiązka: Energia: MV / MeV

Moc dawki monitorowej: MU/min.

Liczba jedn. monitorowych: MU

DZIEŃ	WYDAJNOŚĆ		TOLERANCJA -		PODPIS TECHNIKA RADIOTERAPII	PODPIS KIEROWNIKA RADIOTERAPII
	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Średnia		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

F.

Kontrola parametrów technicznych akceleratora wykonywana raz w tygodniu przez pracowników serwisu

Akcelerator: Miesiąc: Rok:

PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	I TYDZIEŃ	II TYDZIEŃ	III TYDZIEŃ	IV TYDZIEŃ	V TYDZIEŃ
1. Telemetr	2 mm					
2. Centratory	2 mm					
3. Symulacja świetlna	2 mm					
4. Wyposażenie dodatkowe	—					
Data i podpis osoby przeprowadzającej kontrolę						
Data i podpis Kierownika Radioterapii						

G.

Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązek promieniowania X i elektronów wykonywana raz w tygodniu przez fizyków

Akcelerator:

Miesiąc:

Rok:

PARAMETR KONTROLOWANY		TOLERANCJA	I TYDZIEŃ	II TYDZIEŃ	III TYDZIEŃ	IV TYDZIEŃ	V TYDZIEŃ
1. Wydajność	wiązki X	1,5%					
	wiązki e ⁻	1,5%					
2. Powtarzalność	wiązki X	0,5%					
	wiązki e ⁻	0,5%					
Data i podpis osoby przeprowadzającej kontrolę							
Data i podpis Kierownika Radioterapii							

H.

**Kontrola parametrów technicznych akceleratora
wykonywana raz na kwartał przez fizyków
i pracowników serwisu aparatury**

Akcelerator:

Rok:

PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	I KWARTAŁ	II KWARTAŁ	III KWARTAŁ	IV KWARTAŁ
1. Światła informacyjne i ostrzegawcze	—				
2. Ostrzegawcze sygnały dźwiękowe	—				
3. Blokada drzwi	—				
4. Wyłączniki bezpieczeństwa	—				
5. Awaryjny licznik dawki	0 MU				
6. Położenie 0°, 90°, 180°, 270° ramienia i kolimatora	wsk. elektron. 0,5° skala mechan. 1,0°				
7. Zgodność osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej	2 mm				
8. Izocentrum	2 mm				
9. Centratory	1 mm				
10. Telemetr	2 mm				
11. Symulacja wiązki X świetlnej wiązki e ⁻	2 mm 2 mm				
12. Wposażenie dodatkowe akceleratora	—				
13. Interwizja i interfonia	—				
Data i podpis osoby przeprowadzającej kontrolę					
Data i podpis Kierownika Radioterapii					

I.

Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązki promieniowania X wykonywana raz na kwartał i raz w roku przez fizyków

Akcelerator:

Rok:

Energia wiązki: MV

PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	I KWARTAŁ	II KWARTAŁ	III KWARTAŁ	IV KWARTAŁ
1. Pole promieniowania	2 mm				
2. Jednorodność	6%				
3. Symetria	2%				
4. Energia (PDG)	1%				
5. Wydajność [Gy/MU]	1,5%				
6. Współczynnik A	1%				
7. Powtarzalność	0,5%				
8. Proporcjonalność	1 MU; 1%				
9. Wydajność w funkcji kąta	1,5%				
10. Stabilność podczas dnia	2%				
Data i podpis osoby przeprowadzającej kontrolę					
Data i podpis Kierownika Radioterapii					

J.

Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązki promieniowania X wykonywana raz w roku przez fizyków

Akcelerator:

Rok:

Energia wiązki: MV

Współczynniki klinów (tolerancja 1,5%)					
Data	Klin 1	Klin 2	Klin 3	Klin 4	Podpis
	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	

Współczynniki pochłaniania w tacach do osłon (tolerancja 1%)					
Data	Taca 1	Taca 2	Taca 3	Taca 4	Podpis
	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	wartość początkowa (wprowadzona do TPS)	

K.

Kontrola parametrów dozymetrycznych wiązki elektronów wykonywana raz na kwartał i raz w roku przez fizyków

Akcelerator:

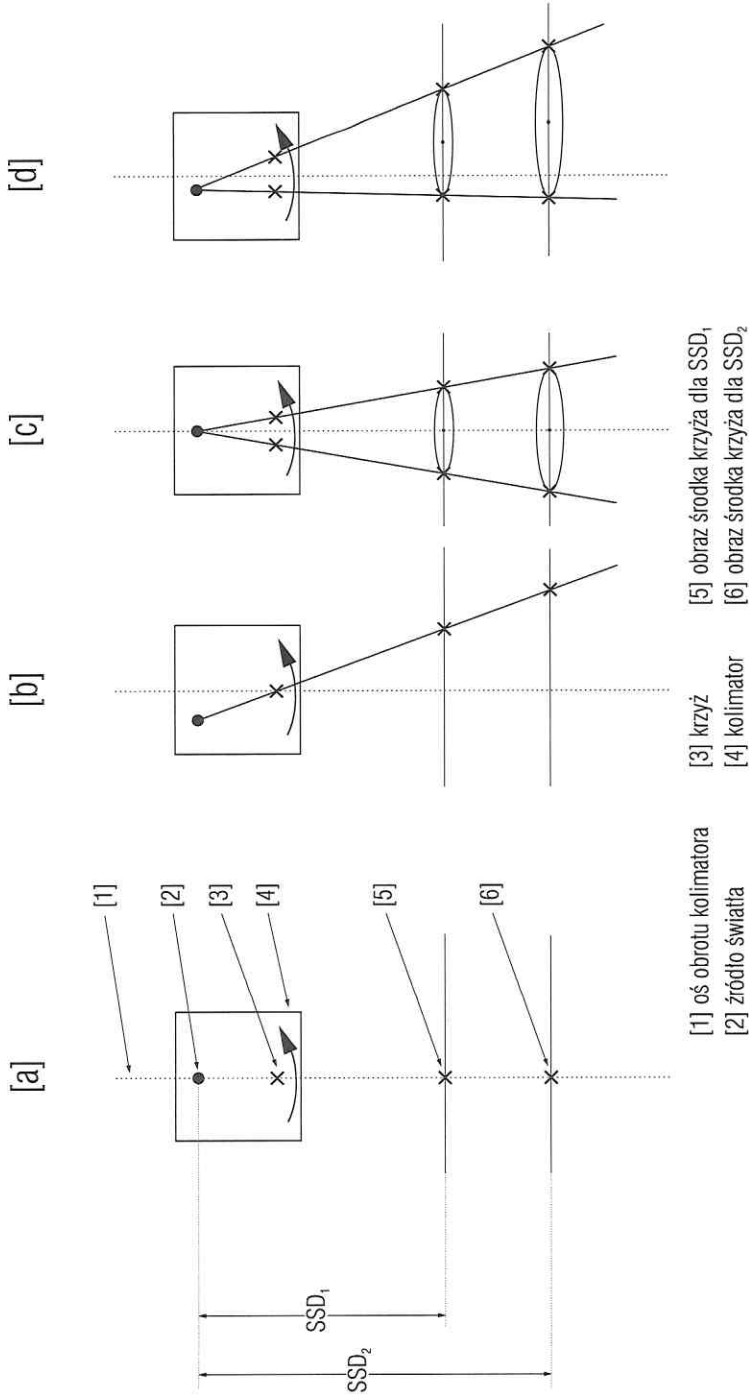
Rok:

Energia wiązki: MeV

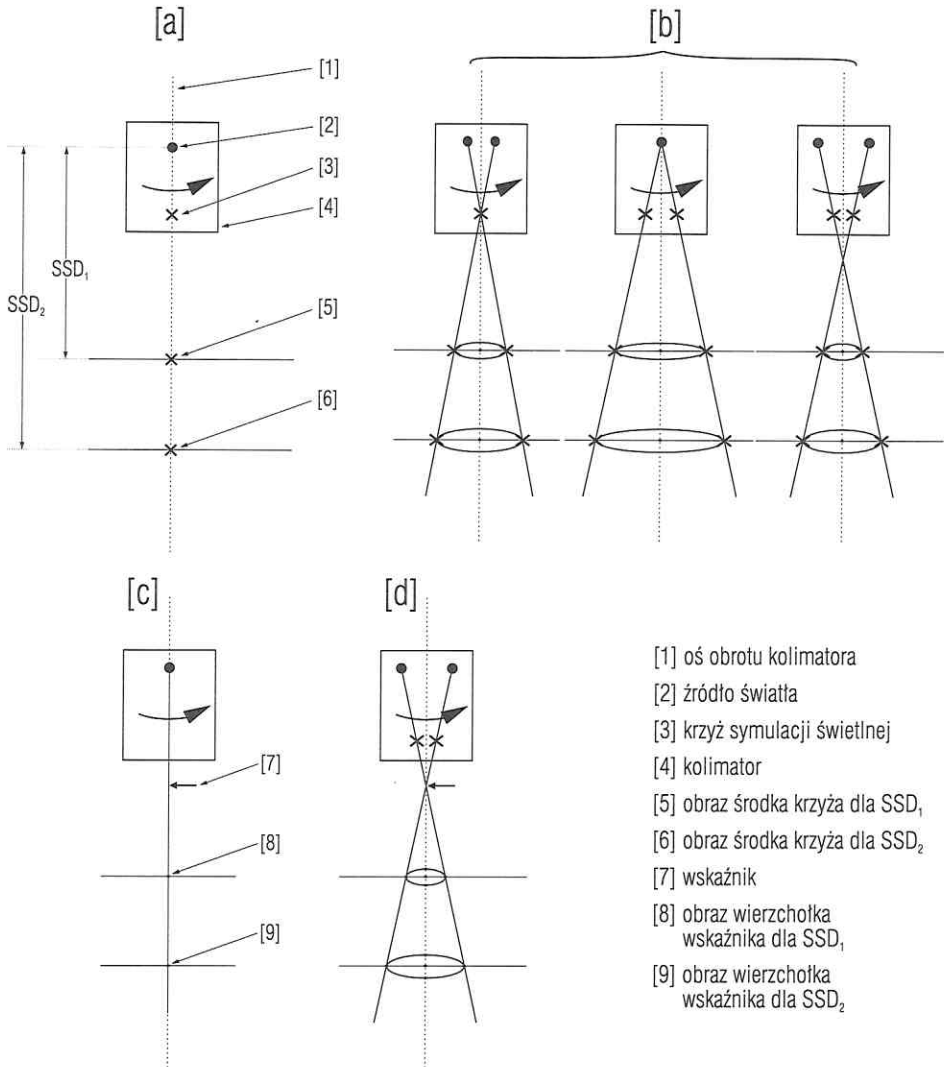
PARAMETR KONTROLOWANY	TOLERANCJA	I KWARTAŁ	II KWARTAŁ	III KWARTAŁ	IV KWARTAŁ
1. Pole promieniowania	2 mm				
2. Jednorodność	10%				
3. Symetria	2%				
4. Energia (zasięg R_{50})	1 mm				
5. Wydajność [Gy/MU]	1,5%				
6. Współczynnik A	1%				
7. Powtarzalność	0,5%				
8. Proporcjonalność	1 MU; 1%				
9. Wydajność w funkcji kąta	1,5%				
10. Stabilność podczas dnia	2%				
Data i podpis osoby przeprowadzającej pomiary					
Data i podpis Kierownika Radioterapii					

Piśmiennictwo

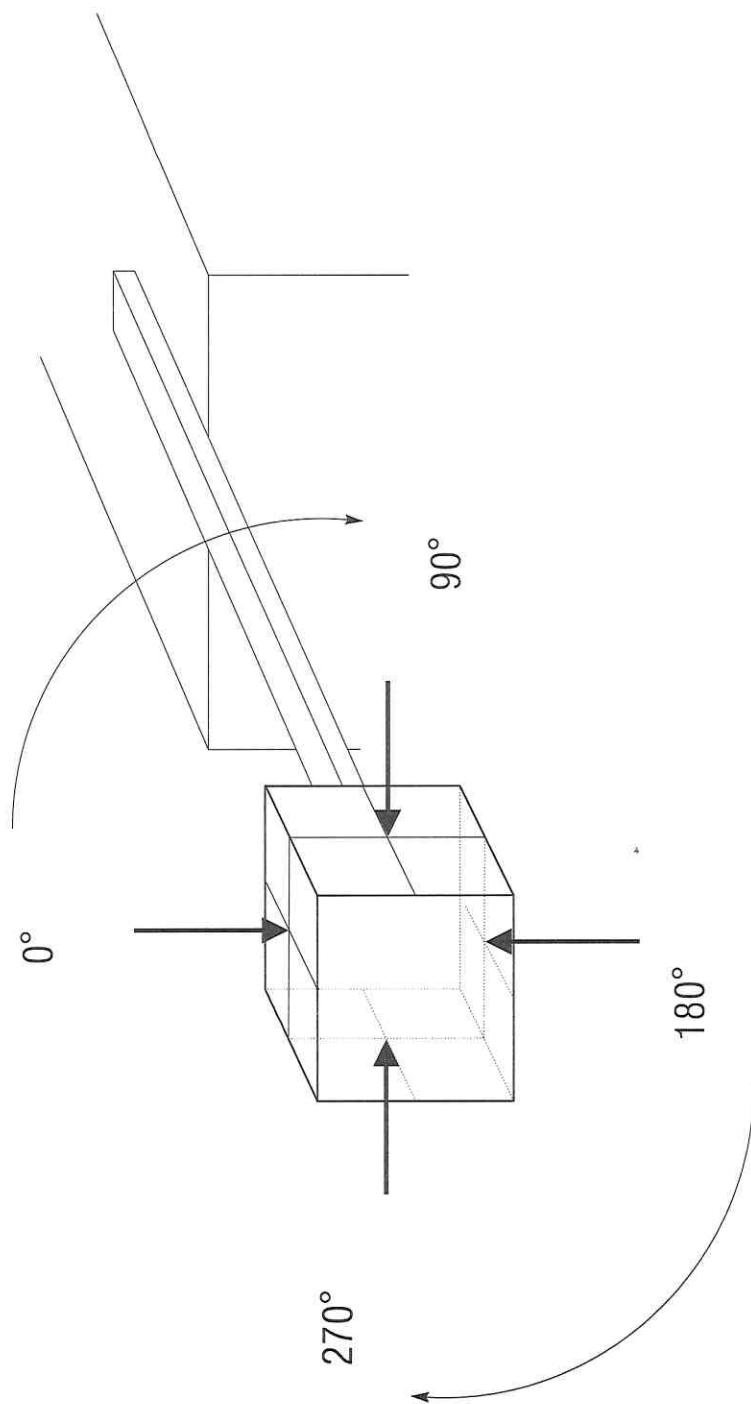
- [1] IAEA. Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams. Technical Report Series No 277. Vienna: IAEA; 1987.
- [2] NCRP (US). Dosimetry of X-ray and Gamma-ray Beams for Radiation Therapy in the Energy Range 10 keV to 50 MeV. Report No 69. Washington (DC): NCRP; 1981.
- [3] Gajewski R, Iżewska J, Rostkowska J, Kania M. Krajowe Zalecenia Dotyczące Pomiaru Dawki Pochłoniętej. Warszawa: Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej (PL); 1991.
- [4] Horton JL. Acceptance Testing and Commissioning of Megavoltage Therapy Facilities. Proceedings of the Second International Summer School; 1993; Warsaw, Poland.
- [5] IEC. Medical Electrical Equipment. International Standard Publ. 976. Geneva: IEC; 1989.
- [6] IEC. Medical, Electrical Equipment. Technical Report Publ. 977. Geneva: IEC; 1989.
- [7] Kutcher GJ, Cola L, Gillin M, Hanson WF, et al. Comprehensive QA for radiation oncology. Report of AAPM Radiation Committee Task Group 40. Med Phys 1994; 21(4): 581-618.
- [8] Bauml A, editor. Quality Assurance in Radiation Therapy. Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes; 1986.
- [9] Quality Assurance in Radiation Therapy: Clinical and Physical Aspects. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics 1988; 10 Suppl 1: 1-202.
- [10] WHO. Quality Assurance in Radiotherapy. Geneva: WHO; 1988.
- [11] Williams JR, Thwaites DI. Radiotherapy Physics in Practice. Oxford (UK): Oxford University Press; 1993.
- [12] IAEA. Review of Data and Methods Recommended in the International Code of Practice: Technical Report Series No. 277. Vienna: IAEA; 1993.
- [13] IAEA. The Use of Plane-Parallel Ionization Chamber in High-Energy Electron and Photon Beams. Technical Report Series No 381. Vienna: IAEA; 1997.



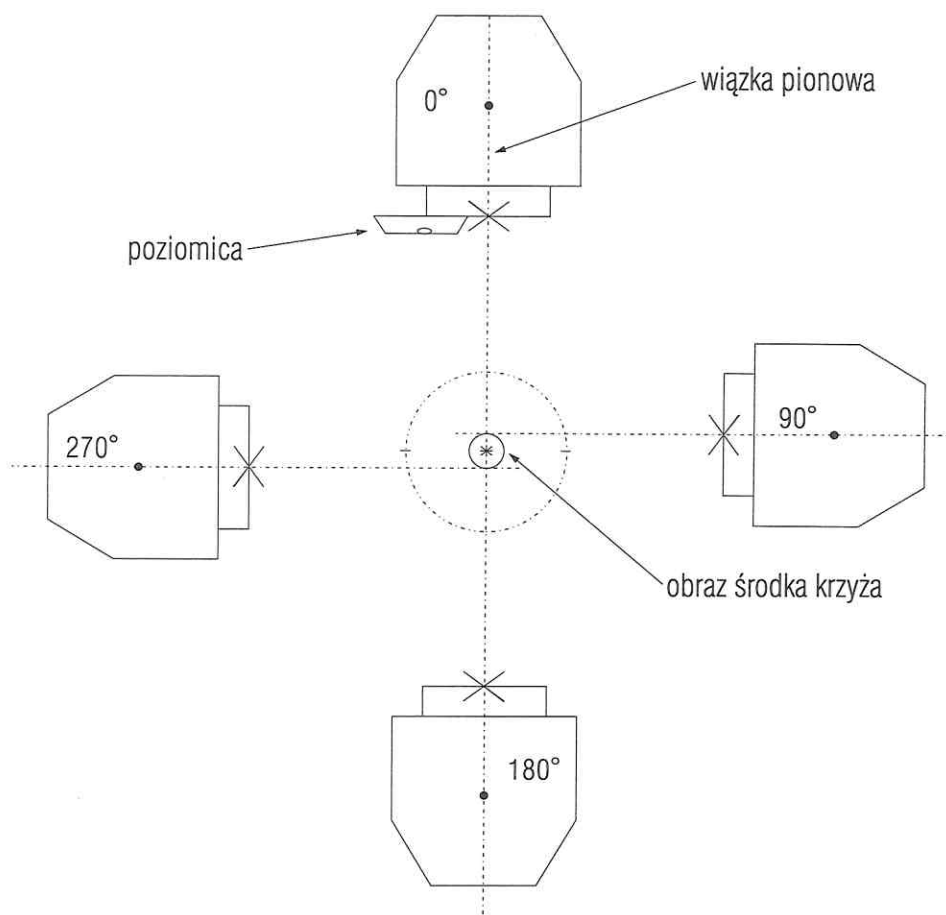
Rycina 1A. Kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej



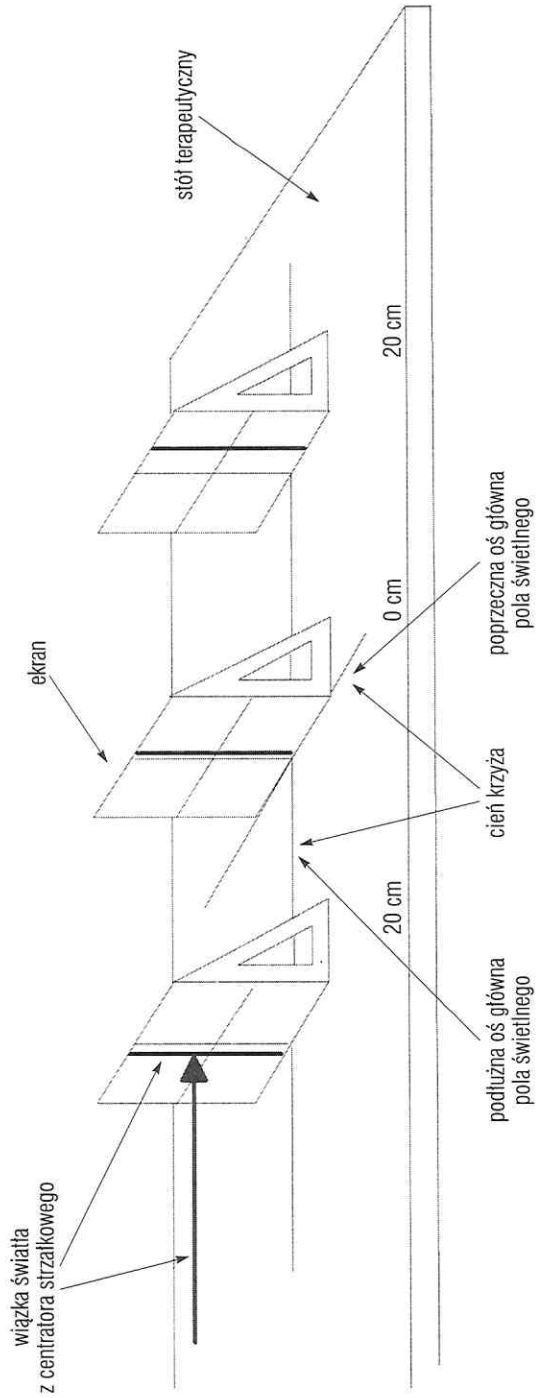
Rycina 1B. Kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej



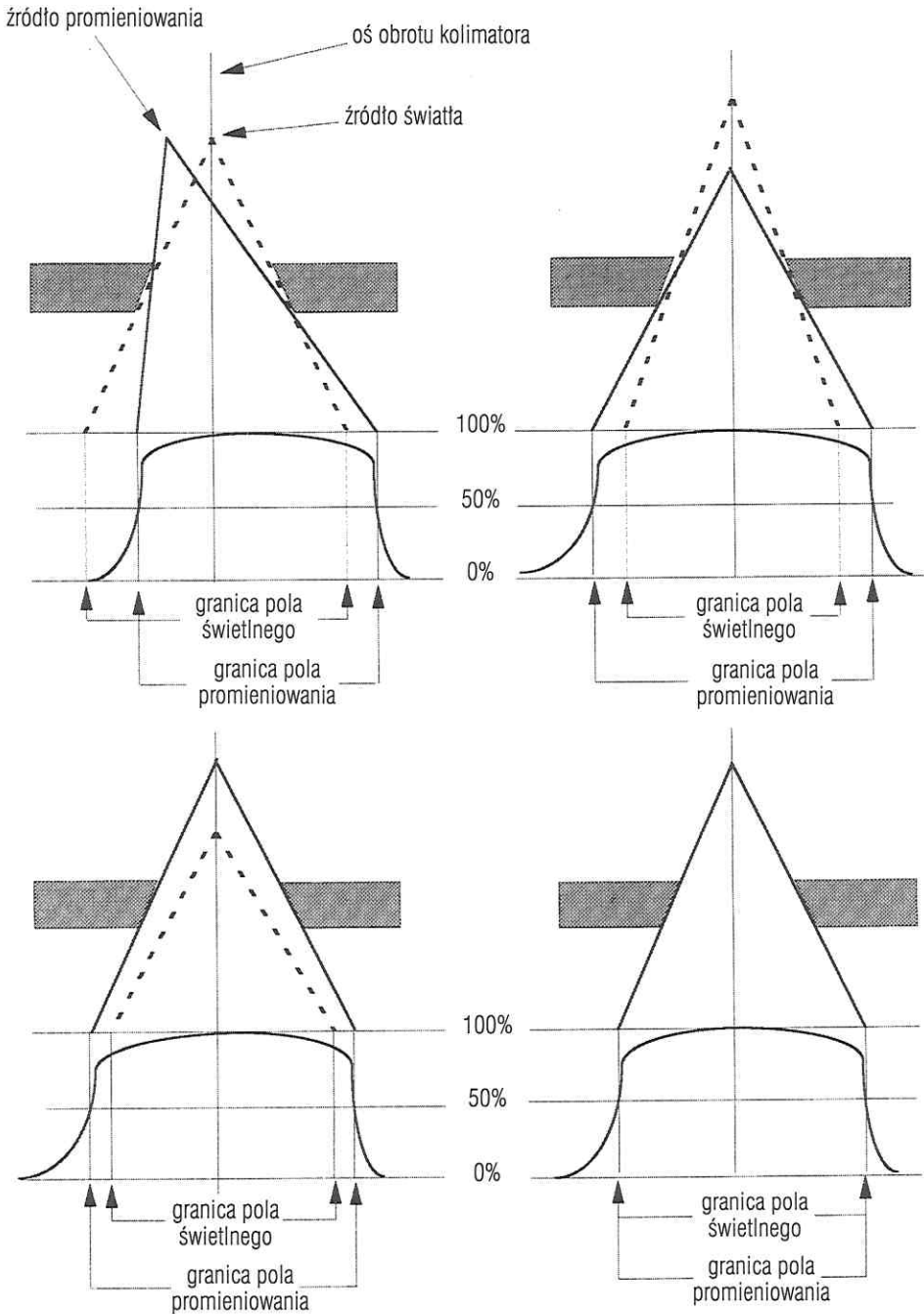
Rycina 2. Kontrola izocentrum mechanicznego



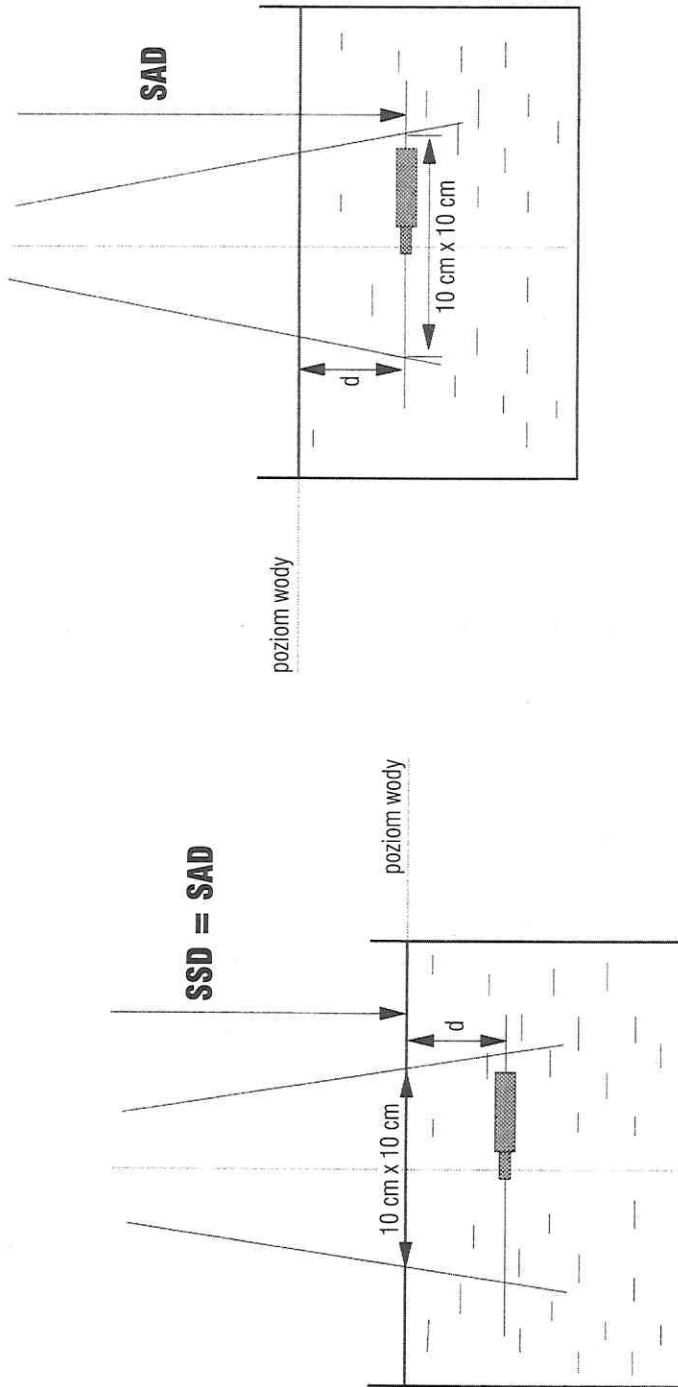
Rycina 3. Kontrola izocentrum mechanicznego



Rycina 4. Kontrola centratorów



Rycina 5. Kontrola pola promieniowania



Rycina 6. Geometria pomiarów